

Veranderingen in inzichten en gegevens gerelateerd aan de normering

Eindrapport 2024



Veranderingen in inzichten en gegevens gerelateerd aan de normering
Eindrapport 2024

Veranderingen in inzichten en gegevens gerelateerd aan de normering
Eindrapport 2024

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	
Referenties	
Trefwoorden	Waterveiligheid, normen van de waterkeringen

Documentgegevens	
Versie	1.0
Datum	10-09-2024
Projectnummer	11210373-009
Document ID	
Pagina's	92
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)		

Samenvatting

In 2017 zijn nieuwe normen voor de primaire waterkeringen in de wet verankerd. Deze normen hebben betrekking op de maximaal toelaatbare overstromingskansen van de keringen. Om te komen tot deze waterveiligheidsnormen zijn in het verleden drie criteria gebruikt, namelijk de economisch optimale kans, het Lokaal Individueel Risico (LIR) als maat voor basisveiligheid, en het groepsrisico. Voor deze criteria zijn per dijktraject kanseisen afgeleid en op basis van deze kanseisen en eventueel aanvullende overwegingen is vervolgens in een politiek-bestuurlijk proces aan ieder dijktraject een waterveiligheidsnorm toegekend. Inmiddels is er nieuwe kennis, en hebben er sociaal-economische ontwikkelingen plaatsgevonden en is in de evaluatie nagegaan of deze aanleiding zijn tot heroverweging van de waterveiligheidsnormen.

Om aan de evaluatie bij te dragen is Deltares gevraagd een beeld te geven van veranderingen in inzichten en gegevens gerelateerd aan de aannames in de berekeningen die ten grondslag liggen aan de normen en een inschatting van de consequenties van die veranderingen voor de berekende kanseisen. Of deze veranderingen leiden tot een heroverweging van de normen valt buiten de scope van dit rapport. Dit is een politiek-bestuurlijke keuze.

In de jaren 2021-2024 is hiertoe een analyse uitgevoerd van de veranderingen in inzichten en gegevens gerelateerd aan de aannames in de berekeningen die ten grondslag liggen aan de normen en de mogelijke consequenties daarvan. Er is in 2022 en in 2023 een rapport met bevindingen en aanbevelingen opgeleverd (De Bruijn en De Grave, 2022; De Bruijn, 2023) die vervolgens zijn opgepakt. Ook zijn er tussentijds memo's gemaakt van deelonderzoeken zoals voor de Maasvallei, voor het effect van nieuwe overstromingssimulaties op de LIR eisen en over de implicaties van de nieuwe discontovoet. Het voorliggende eindrapport bevat een compleet geheel van zowel eerder onderzoek als het meer recente onderzoek.

De resultaten van de analyse laten zien dat ondanks dat er feitelijke veranderingen en nieuwe inzichten zijn, de verandering in de berekende kanseisen voor de meeste dijktrajecten niet significant zijn. Een significante verandering is hier gedefinieerd als een verandering in de kanseis van tenminste een factor 3, aangezien de waterveiligheidsnormen steeds een factor 3 in hoogte van elkaar verwijderd liggen. De belangrijkste veranderingen of nieuwe inzichten met een wezenlijk effect op kanseisen zijn:

- *De wijziging in de waarde van de discontovoet:* Deze heeft effect op alle trajecten waarvan de norm bepaald is op basis van de economisch optimale kans. Er wordt nu een kleinere discontovoet geadviseerd en ook wordt er minder economische groei verwacht tot aan 2050 dan voorheen. De twee veranderingen samen leiden tot strengere economisch optimale kansen. Een economisch optimale kans van 1/1000 per jaar wordt door deze beide veranderingen 1/2400 per jaar. De discontovoet wordt echter regelmatig aangepast. De verwachting is dat in 2025 nieuwe aanpassingen gedaan worden waardoor weer minder strenge economisch optimale kansen worden berekend dan op dit moment.
- *Het meenemen van evacuatie op de Waddeneilanden.* De Waddeneilanden bestaan deels uit hoge gronden waarnaar evacuatie mogelijk is. Het meenemen van evacuatiemogelijkheden (uitgaande van een conservatieve waarde) leidt voor de Waddeneilanden tot minder strenge kanseisen aan de keringen. Ook een correctie van de berekening van het LIR leidt tot minder strenge kanseisen aan deze keringen. Deze correctie betreft de wijze van combineren van de risicobijdrages van de duin- en dijktrajecten aan het LIR.

- Het *gecombineerde effect* van bijdrages van verschillende dijktrajecten aan de basisveiligheid in de Betuwe (traject 45-5 en 43-6) blijkt minder groot te zijn dan voorheen verondersteld, waardoor de kanseis op basis van het LIR soepeler wordt.
- *De gewijzigde inschatting van de betrouwbaarheid sluiten van de Hollandse IJsselkering*: De kans op het niet-sluiten is nu kleiner verondersteld. Hierdoor wordt er nu meer gewicht toegekend aan overstromingsscenario's passend bij een doorbraak van de Hollandse IJsseldijken en een gesloten Hollandse IJsselkering. De verwachte schade gegeven een overstroming zal hierdoor lager worden waardoor de economisch optimale kans en de LIR-eis soepeler worden. Er zijn hier nog geen kwantitatieve effecten voor beschikbaar. De effecten worden momenteel onderzocht.
- *De overgang naar het nieuwe Standaard Schade- en Slachtoffermodel 2017*: Dit heeft voor dijktrajecten waarbij de gevolgen relatief klein zijn een groot effect. Slechts voor een enkel traject leidt dit tot een verandering in de economisch optimale kans van meer dan een factor 3.
- *Waterdieptekaarten Limburg*: Er zijn nieuwe inzichten in de verwachte waterdiepte bij doorbraak van een dijktrajecten in het bovenstroomse deel van de Maas in Limburg waardoor de economisch optimale kans en de eis op basis van het LIR veranderen.

Deze veranderingen en nieuwe inzichten leiden samen tot significante wijziging in de kanseisen van de volgende dijktrajecten:

- De dijktrajecten langs de Waddeneilanden: hier wordt een soepeler eis berekend door de afname van de LIR- eis door het meenemen van evacuatiemogelijkheden en een betere wijze van combineren van de risicobijdrages van verschillende trajecten aan het totale LIR. Deze LIR-eis is voor de meeste trajecten het bepalend criterium voor de waterveiligheidsnorm.
- 14-1 en 15-3: (Hollandse IJssel West en Hollandse IJssel oost): De economisch optimale kans en de LIR-eis worden mogelijk een klasse soepeler wanneer de nieuwe inzichten met betrekking tot de betrouwbaarheid sluiten worden meegenomen.
- Limburgse dijktrajecten: Op basis van verkennende analyses met betere waterdieptes is vastgesteld dat de nieuwe inzichten in waterdieptes cruciaal zijn voor de berekende economisch optimale kans. Deze kans is het bepalend criterium voor deze dijktrajecten en daarom worden er momenteel nauwkeuriger doorbraaksimulaties uitgevoerd voor alle normtrajecten. Met de uitkomsten van deze simulaties worden dan opnieuw de criteria LIR en economisch optimale kans bepaald. Ook de invloed van de nieuwe discontovoet, de overgang naar het veel nauwkeuriger SSM de nauwkeuriger informatie over de ligging van de normtrajecten zullen dan meegenomen worden. Ook is het aan te raden om de kostenkentallen voor dijkversterking opnieuw te bekijken: Als de kostenkentallen per normtraject hoger uitvallen, dan zullen soepeler kanseisen gevonden worden.

Aanbevelingen

Op basis van de analyses in deze studie worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Voor de evaluatie van de normen is het heroverwegen van de normen van de trajecten in de Maasvallei, de Waddeneilanden, en traject 15-3 en 14-1 (Hollandse IJssel West en Oost) het meest belangrijk.
- Om aan de basisveiligheid te voldoen is het in dijkringen Rijn en IJssel (bij 48-1), de Ooijpolder (42-1), en in kleine buurten op Goeree Overflakkee (25-1) aan te raden om het crisismanagement verder te verbeteren op basis van de gevaarkaart. Ook is nadere analyse van het overstromingsscenario voor de Kreekrakpolder (33-1) aanbevolen.

- Het invullen van het principe 'bodem en water sturend' is zeker voor locaties waar veel nieuwbouw plaatsvindt belangrijk om de toename van de potentiële schade in de toekomst te beperken en te voorkomen dat de economisch optimale eis strenger wordt. Dit geldt algemeen, maar zeker bij de gebieden in Mastenbroek en in Noord-Holland bij normtraject 13-8 omdat daar de relatieve groei van het aantal woningen naar verwachting zeer groot is.

Het is verder aan te raden om lopende ontwikkelingen te volgen, zoals:

- Nieuwe discontovoet en economische groeiverwachting;
- De toelevering van nieuwe overstromingssimulaties aan de landelijke database;
- Dijkversterkingen en de daarbij gemaakte kosten om eventueel de kostenkentallen voor dijkversterking te verbeteren;
- Verbeteringen in crisismanagement.
- Onderzoek naar mortaliteit en slachtofferisico's, uitval van vitale infrastructuur en effecten daarvan, en maatschappelijke ontwrichting door extreme hoogwaters in Nederland.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	9
1.1	Aanleiding	9
1.2	Doel, aanpak en uitgangspunten	10
1.3	Opbouw van het rapport	11
2	Bepalen van het Lokaal Individueel Risico (LIR)	12
2.1	Methode en belangrijkste aannames	12
2.2	Overstromingssimulaties	12
2.3	Evacuatiefracties	16
2.3.1	Toelichting gebruikte evacuatiefracties	16
2.3.2	Effect gebruik verwachtingswaarde evacuatiefractie	18
2.3.3	Waddeneilanden	20
2.4	Mortaliteitsfuncties en toepassing bij bepaling van het LIR	21
3	Bepaling economisch optimale kans	26
3.1	Methode en belangrijkste aannames	26
3.2	Discontovoet en economische groei	28
3.3	Schade	30
3.3.1	Overzicht aannames/invoer	30
3.3.2	Effect nieuwe Schade en Slachtoffer Module	32
3.3.3	Nieuwbouw in relatie tot de normen	34
3.3.4	Overstromingssimulaties	34
3.3.5	Overige aannames die de schade beïnvloeden	36
3.4	Kosten van dijkversterking	37
3.4.1	Overzicht methode kostenbepaling	37
3.4.2	Nieuwe inzichten in de uitgangssituatie en dijkfaalmechanismen	40
3.4.3	Conclusies met betrekking tot de kostenbepaling	41
3.5	Samenvatting analyse met betrekking tot de economisch optimale kans	41
4	Groepsrisico	44
5	De dijktrajecten langs de Limburgse Maas	45
5.1	Inleiding	45
5.1.1	De huidige normen en hun achtergrond in vogelvlucht	45
5.1.2	Belangrijkste punten uit de discussie omtrent de normen	47
5.1.3	Eerste verkenning	50
5.2	Waterdieptekaarten	50
5.3	Effect van de overgang van HIS-SSM naar SSM2017	52

5.4	Gecombineerd effect van de indicatieve waterdieptekaarten en gebruik van SSM2017 op het LIR en de MKBA-uitkomst	54
5.5	Evacuatiefractie en mortaliteit	55
5.6	Discontovoet en Economische groei	56
5.7	Kosten	56
5.8	Discussie en conclusies	57
6	Conclusies en aanbevelingen	58
6.1	Conclusies	58
6.2	Aanbevelingen	60
6.3	Tabel met per dijktraject gegevens en het effect van nieuwe inzichten	61
7	Referenties	71
A	Overzicht van uitgangspunten en aannames	74
A.1	Algemeen	74
A.2	Aannames en uitgangspunten specifiek voor de MKBA	75
A.3	Specifiek voor het LIR	77
B	Waterdieptekaarten en kanseisen voor Limburg	78
B.1	Inleiding	78
B.2	Methode	78
B.2.1	Methode en invoer voor het maken van een waterdieptekaart	78
B.2.2	Bepalen schade, slachtoffers en getroffen	80
B.2.3	Bepalen kanseis op basis van het LIR	80
B.2.4	Bepalen kanseis op basis van MKBA	81
B.3	De resulterende maximale waterdieptekaart	81
B.3.1	Vergelijking met waterdieptekaarten gebruikt in DPV	83
B.4	LIR en MKBA kanseis	84
C	Toelichting op de LIR bepaling van dijktraject 43_5 en 43-6	89
C.1	Conclusie	91

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In 2017 zijn nieuwe normen voor de primaire waterkeringen in de Waterwet verankerd. Inmiddels zijn deze opgenomen in de Omgevingswet. In 2050 moeten alle waterkeringen aan deze nieuwe normen voldoen. Deze normen beschrijven de maximaal toelaatbare overstromingskansen¹ van de keringen. De nieuwe normen zijn tot stand gekomen op basis van risicoberekeningen: de normen hebben betrekking op de kans op een overstroming van het achterland, en worden dus bepaald door de verwachte gevolgen van zo'n overstroming. Daarnaast hangen ze af van de kosten die gemaakt moeten worden om de kans op overstroming te verkleinen. De normhoogten zijn zo bepaald dat:

- Iedere locatie in Nederland achter een primaire kering voldoet aan een eis voor het basisbeschermingsniveau (een Lokaal Individueel Risico kleiner dan 10^{-5} per jaar);
- Extra bescherming wordt gegeven bij kans op grote aantallen slachtoffers en/of grote economische schade, en/of ernstige schade door uitval van infrastructuur van nationaal belang ('vitaal en kwetsbaar').

Uiterlijk op 31 december 2024 zal de minister van Infrastructuur & Waterstaat een verslag naar de Eerste en Tweede Kamer zenden over de doeltreffendheid en effecten van de artikelen 2.2, 2.3, 2.12, 3.9 en 7.23 tot en met 7.26 in de Waterwet. Onderdeel van de evaluatie is een verslag van een analyse of aanpassing van de normen voor de primaire waterkeringen nodig is, voor het geval wezenlijke veranderingen in de achterliggende aannames en/of gegevens zijn opgetreden.

In 2020 is een plan van aanpak voor de evaluatie van de normen opgesteld. Eén van de activiteiten in dit kader is een analyse van veranderingen in inzichten en gegevens gerelateerd aan de aannames en uitgangspunten die gebruikt zijn in de berekeningen die ten grondslag liggen aan de normen en de mogelijke consequenties daarvan. Dit rapport beschrijft de resultaten van deze analyse. Dit rapport is een geactualiseerde versie van eerdere rapporten van De Bruijn & Grave (2022) en De Bruijn (2023). In deze geactualiseerde versie zijn de resultaten van de eerdere rapporten overgenomen en zijn de resultaten van additioneel onderzoek toegevoegd. Dit betreft met name onderzoek naar de discontovoet en economische-groeiverwachting, nieuwe overstromingsscenario's en het effect daarvan op de LIR-eis, en een beschouwing over de dijktrajecten langs de Limburgse Maas.

Aannames of gegevens die gebruikt zijn voor het berekenen van de normen kunnen sterk veranderen, wanneer:

- Het gebied sterk veranderd is, waardoor de gevolgen van overstromingen anders zijn;
- Inzichten vastgelegd in rekenregels veranderd zijn, zoals bijvoorbeeld over de sterkte van waterkeringen of over de kosten van versterking van keringen, inzichten in mortaliteitsfuncties of schadefuncties;
- Wanneer politiek-bestuurlijke keuzes veranderen waarbij de keuze voor bijvoorbeeld de te gebruiken discontovoet of evacuatiefracties wordt aangepast.

¹ Met overstromingskansen van de kering wordt in de Waterwet bedoeld: de kans op een overstroming van het gebied achter de kering met potentiële slachtoffers en substantiële schade.

1.2 Doel, aanpak en uitgangspunten

Om te komen tot de hoogwaterbeschermingsnormen zijn drie criteria gebruikt, namelijk:

- De *economisch optimale kans* bepaald met de MKBA (Maatschappelijke Kosten Baten Analyse);
- Basisveiligheid: de primaire keringen moeten een zodanige bescherming bieden dat de jaarlijkse overlijdenskans door overstromingen erachter nergens groter is dan 10^{-5} . Deze kans wordt het *Lokaal Individueel Risico (LIR)* genoemd.
- De kans op sociale ontwrichting: de kans op gebeurtenissen met grote aantallen slachtoffers moet beperkt blijven. Trajecten die veel bijdragen aan het *groepsrisico* hebben daartoe een extra strenge norm gekregen.

Op basis van deze criteria zijn voor ieder dijktraject overstromingskanseisen berekend die als *input* voor de normering zijn gebruikt (Slootjes & van der Most, 2016). In een politiek-bestuurlijk proces zijn vervolgens normen vastgesteld. Voor de meeste dijktrajecten is de strengste van deze drie criteria maatgevend geweest voor de norm (kanseis). Voor enkele dijktrajecten zijn nog aanvullende afwegingen gebruikt (zie figuur 1.1)². In de norm is een getal vastgelegd dat een normklasse representeert. De normklassegrenzen verschillen steeds een factor 3.

In de berekening van de indicatoren LIR, economisch optimale kans en groepsrisico zijn destijds aannames gedaan en gegevens gebruikt. Het onderzoek in dit rapport richt zich op de vraag:

Zijn er nieuwe inzichten of ontwikkelingen met betrekking tot deze aannames en gegevens die gezamenlijk mogelijk leiden tot een significante verandering (factor 3 of meer verschil) in de kanseisen gebaseerd op de economisch optimale kans, het LIR of het groepsrisico?

Deze factor 3 is gebaseerd op de grootte van de klassen: de normen van opeenvolgende klassen verschillen een factor 3. Figuur 1.1 geeft voor de dijktrajecten weer welk criterium maatgevend is geweest.

Om deze vraag te beantwoorden zijn in dit rapport de gebruikte aannames en uitgangspunten samengevat en zijn de effecten van wijzigingen in deze aannames op de uitkomsten (de overstromingskanseisen volgend uit de drie criteria) geanalyseerd. Hieruit is een beeld afgeleid met betrekking tot welke dijktrajecten extra aandacht vragen. Het doen van berekeningen van nieuwe kanseisen op basis van de drie criteria voor alle dijktrajecten viel buiten de scope van dit project.

² Een overzicht per dijktraject is gegeven in: Min I&M (2016b)



Figuur 1.1. Het bepalend criterium voor de dijktrajecten in Nederland (bron: Slootjes & Van der Most, 2016, figuur 5.6)

1.3 Opbouw van het rapport

De analyse voor het LIR, de criteria 'economisch optimale kans', en groepsrisico is beschreven in respectievelijk de hoofdstukken 2, 3 en 4. In deze hoofdstukken staat een korte samenvatting van de gebruikte methode van berekening van de indicator, gevolgd door een overzicht van de belangrijkste aannames en uitgangspunten en de ontwikkelingen en wijzigingen daarin en de implicaties daarvan. In hoofdstuk 5 wordt specifiek ingegaan op Limburg. Tenslotte worden in hoofdstuk 6 conclusies gegeven en aanbevelingen gedaan. Ook worden in hoofdstuk 6 overzichtstabellen van de veranderingen met een indicatie van het effect van die veranderingen op de kanseisen voor alle dijktrajecten gegeven.

2 Bepalen van het Lokaal Individueel Risico (LIR)

2.1 Methode en belangrijkste aannames

Er is gesteld dat in iedere buurt in Nederland achter een primaire kering de basisveiligheid geldt, wat wil zeggen dat het Lokaal Individueel Risico (LIR) maximaal 10^{-5} mag bedragen³. Het LIR achter een dijktraject wordt berekend als het product van (zie vergelijking 1):

- De faalkans van een kering;
- De kans om achter te blijven en nog geen veilig gebied bereikt te hebben voor de overstroming (deze is gelijk aan $1 - \text{de evacuatiefractie}$);
- En de kans om als achtergeblevene te overlijden (de mortaliteit).

$$LIR(t) = \sum_{i=1}^N P_{Nt} * Mortaliteit_N * (1 - \text{evac}) \quad (\text{vergelijking 1})$$

Uitgaande van een maximale LIR waarde van 10^{-5} kan met de mortaliteit en evacuatiefractie de maximaal toelaatbare faalkans berekend worden. Deze berekening wordt gedaan per buurt. De buurt met de strengste LIR kanseis is maatgevend voor het dijktraject. Wanneer een buurt door meerdere dijktrajecten wordt beschermd mogen deze samen een LIR opleveren dat maximaal 10^{-5} is.

De belangrijkste aannames en keuzes achter het LIR die besproken worden in dit hoofdstuk zijn:

- De gebruikte set van gebruikte overstromingssimulaties: Er is een geactualiseerde set met overstromingssimulaties.
- De rekenwaarde voor de evacuatiefracties: Er is een conservatieve waarde gebruikt. Er zijn studies en trajecten uitgevoerd om crisismanagement te verbeteren die kunnen leiden tot een meer succesvolle evacuatie (denk aan WAVE van de Veiligheidsregio's). Ook is er geen rekening gehouden met mogelijkheden om na doorbraak het gebied te verlaten. De aankomsttijd is verwaarloosd. Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen gebieden die direct overstromen en gebieden die pas na dagen overstromen.
- Ontwikkeling in de kennis van mortaliteit gegeven een bepaalde overstroming: Er zijn studies geweest naar de mortaliteit (in het kader van de Kennisalliantie Slachtoffers en evacuatie).

De volgende paragrafen gaan in op deze punten. Ook worden enkele aspecten van de berekening nader onderzocht, zoals de buurgrenzen en de wijze waarop de LIR-waardes horend bij dijktrajecten die hetzelfde gebied beschermen worden samengenomen en vertaald tot een LIR-eis voor ieder afzonderlijk traject.

2.2 Overstromingssimulaties

Voor het bepalen van het LIR zijn overstromingssimulaties gebruikt. Op basis van die overstromingssimulaties is de mortaliteit (de kans om te overlijden bepaald). De mortaliteit is afhankelijk van de maximale waterdiepte, stijgsnelheid en stroomsnelheid die ontstaan bij overstromingen. De mortaliteit is het grootst bij de bres waar de stroomsnelheid zeer groot is. Locaties waar het water snel stijgt en het meer dan 2 m diep wordt, kennen ook een grote mortaliteit.

³ Om tot een eis te komen is de signaleringswaarde van de norm berekend uitgaande van een maximaal LIR van $5 * 10^{-6}$. Voor de ondergrens in de norm is gerekend met 10^{-5} .

Er zijn vele onzekere factoren die het overstromingsverloop bepalen zoals het moment van doorbreken, de breslocatie, bresgroei, de vorm van de afvoergolf op rivieren of de stormduur, de standzekerheid van secundaire keringen, en onzekerheden in het hoogtemodel en over hydraulische ruwheden. Om te komen tot normen zijn de overstromingssimulaties gebruikt, die gemaakt zijn conform een 'kookboek' (Kok & Van der Doef, 2006; Jongejan, 2012). Voor vrijwel alle gebieden is gerekend met hydro-dynamische modellen met een resolutie van 50 of 100m. Voor de meeste gebieden is bresgroei ook gesimuleerd (en zijn zogenaamde SOBEK modellen gebruikt). De provincies Gelderland en Overijssel hebben echter met een ouder type hydrodynamische modellen gerekend (FLS modellen) waarin bresgroei opgelegd is en hiervoor zijn in het algemeen grote bressen gebruikt. Voor kleine dijktringen (zoals bijv. voor Alem) is een inschatting van de waterdiepte gemaakt met een eenvoudig bakjesmodel.

Recent zijn er nieuwe overstromingssimulaties toegevoegd aan de landelijke set van overstromingssimulaties. In de komende jaren worden bovendien voor veel gebieden nieuwe simulaties verwacht, gebaseerd op geactualiseerde hoogte- en landgebruiksgegevens en bovendien gemaakt met andere hydrodynamische modellen.

Om de invloed van de nieuw aan LIWO⁴ toegevoegde overstromingssimulaties vast te stellen, is met de in november 2022 beschikbare set, een LIR kaart gemaakt op dezelfde wijze als is gedaan in het traject om tot de normen te komen.

Figuur 2.1 toont de nieuwe waarden voor het LIR per buurt uitgaande van de nieuwe set overstromingssimulaties en de overstromingskansen, gelijk aan de ondergrenswaarde⁵. Hierbij is uitgegaan van de situatie waarin alle dijktrajecten aan de normen voor de waterkeringen voldoen. Er was niet voor alle gebieden met zekerheid vast te stellen welke overstromingssimulaties nieuw zijn, noch is er een overzicht van wijzigingen beschikbaar. Daarom zijn alle beschikbare simulaties gebruikt en is voor locaties waar de LIR boven de 10⁻⁵ per jaar uitkwam vastgesteld óf er nieuwe simulaties zijn toegevoegd⁶.

⁴ [Bekijken overstromingsscenario's | LIWO \(basisinformatie-overstromingen.nl\)](#)

⁵ Bij het bepalen van het LIR worden locaties als meren, moerassen en waterlopen niet meegenomen. In deze herberekening is dezelfde beperking gebruikt als in DPV. Het masker wat gebruikt wordt om 'water en natte natuur' uit te sluiten is destijds ruim gedefinieerd. In deze berekening is hetzelfde raster gebruikt.

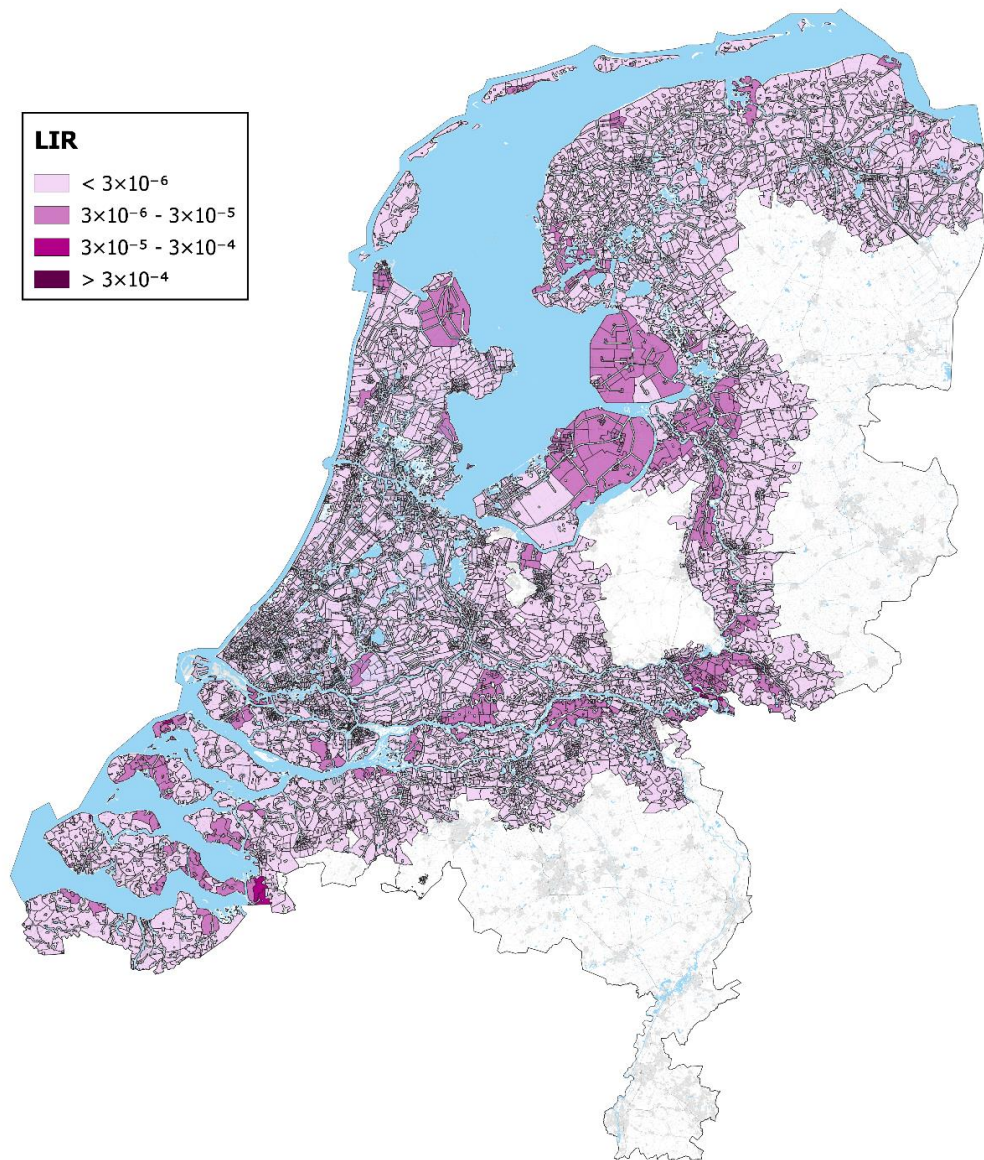
Bij het maken van figuren voor de rapportage van DPV is de signaalwaarde van de norm gebruikt. De figuren of kaarten hadden daarin een zuiver illustratieve functie. Doordat hier de kaart met de ondergrens van de norm getoond wordt, wijkt het beeld dus enigszins af van oudere figuren in Slootjes & Van der Most (2016a).

⁶ In het verleden zijn alleen gridcellen in de berekening meegenomen die overstroonden. In de oude aanpak kon in randgebieden, zoals bij de Veluwe, ten onrechte een lagere mediane mortaliteitswaarde en LIR waarde gevonden worden wanneer een ernstiger overstromingspatroon werd ingevoerd. Immers, wanneer het overstroemd gebied groter werd, maar de mortaliteit in de extra overstroemde gebieden laag was, nam de mediane waarde af. Door alle cellen mee te nemen, wordt het resultaat minder gevoelig voor kleine veranderingen in aannames. Het effect van deze verandering in de methode is naar verwachting klein en treedt alleen op aan de randen van hogere gebieden.

In deze kaart zijn er een aantal buurten waarvan de LIR waarde significant (een factor 3 of meer) boven de 10^{-5} uitkomt:⁷

- 48-1 en 42-1 (Rijn en IJssel): Voor de Duitse dijktrajecten is hierbij uitgegaan van een kans op van falen van 1/3000 per jaar. Door de bijdrage van doorbraken van de Duitse keringen mee te nemen wordt de resulterende LIR waarde groter dan 10^{-5} per jaar. Ook is er voor Ooij een nieuwe overstromingssimulatie meegenomen met grote stijgsnelheden en dus een grote mortaliteit. Wanneer rekening gehouden wordt met de lange aankomsttijden in die buurten bij doorbraken van de Duitse keringen en de evacuatiemogelijkheden beter worden meegenomen wordt wel voldaan aan het basisveiligheidscriterium (Terpstra *et al.*, 2014, Kolen *et al.*, 2021).
- 33-1 (De Kreekrakpolder): Voor dit gebied zijn nieuwe overstromingssimulaties opgenomen in LIWO. Deze simulaties zijn mogelijk niet volgens dezelfde methode gemaakt als de overige scenario's. De informatie over dit scenario is onvoldoende om op basis hiervan conclusies te trekken. Nadere informatie is noodzakelijk.
- 25-1 (Goeree Overflakkee): De hogere LIR waarde van 1 buurt komt hier door het gebruik van extra simulaties met doorbraak van compartimenterings-keringen in een bovenmaatgevend scenario.

⁷ Er is ook 1 buurt op Walcheren, beschermd door traject Walcheren-1 waarvoor de LIR-waarde op de kaart boven de 10^{-5} uitkomt.. nader onderzoek wijst uit dat dit veroorzaakt wordt door een bres die niet meegenomen zou moeten worden en om die reden is deze buurt in eerdere studies ook handmatig gecorrigeerd. De huidige faalkans van het duinvak waarin die bres ontstaat is door VNK2 geschat als kleiner dan een miljoenste per jaar. De werkelijke bijdrage van dit dijkvak aan de totale doorbraakkans van het dijktraject is verwaarloosbaar en het meenemen van deze bres in de LIR kaart geeft een incorrect beeld. Deze buurt wordt om die reden ook niet verder beschouwd.



Figuur 2.1. LIR kaart met de mediane LIR waarde per buurt (2008 buurten CBS) gemaakt met de nieuwe set overstroomingssimulaties bij een situatie waarin de keringen aan de norm voldoen (ondergrenswaarde)

Er is verder speciaal gekeken naar 43-5 en 43-6 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden 5 en 6) aangezien deze opvallen door een extreem hoge rekenwaarde voor de mortaliteit (29 en 20%) (zie Min. I & M, 2016b en tabel 2.2). Deze worden gevonden op basis van een mortaliteit van ongeveer 7 en 5% ten gevolge van doorbraken in het dijktraject zelf en vermenigvuldigd met een factor 4 om rekening te houden met doorbraken van andere dijktrajecten. Die vermenigvuldiging met een factor 4 is hier onterecht blijkt uit de berekening van het LIR voor de LIR kaart in figuur 2.1. De LIR waarden die berekend zijn in deze analyse in de maatgevende buurten bedragen respectievelijk 2.5×10^{-6} en 2×10^{-7} per jaar. Bij een nieuwe berekening met voor alle normtrajecten de normkans (ondergrens) en voor normtraject 43_5 en 43_6 wordt ook nog voldoende basisveiligheid worden geboden. Een nadere toelichting is opgenomen in bijlage C.

Ook is gekeken naar de Waddeneilanden. De in de LIR analyse van de trajecten vanuit de Waddenzee berekende mortaliteit is vermenigvuldigd met een factor twee om rekening te houden met de gecombineerde risicobijdrages van doorbraken in zowel de dijktrajecten langs de Waddenzee als de duintrajecten aan de Noordzee (Slootjes, 2016).

Bij nadere analyse van de beschikbare waterdieptekaarten van doorbraken vanuit de Noordzee lijkt deze factor te hoog. Zoals ook door Riedstra (2024) toegelicht is het meenemen van deze factor op basis van de beschikbare overstromingssimulaties onterecht. Wanneer deze factor 2 niet wordt meegenomen worden voor Schiermonnikoog, en Terschelling soepeler LIR eisen berekend.

Conclusie

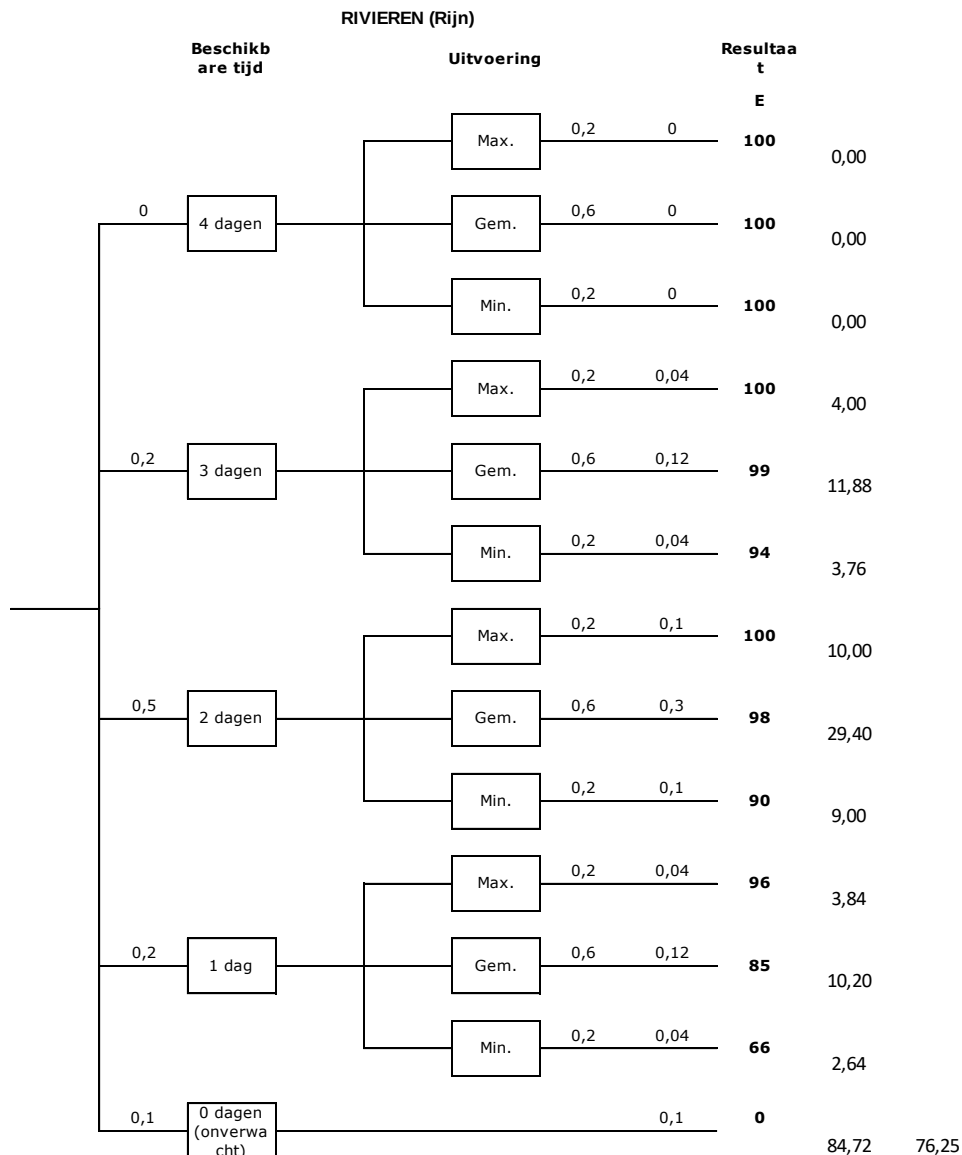
Deze analyse geeft aan dat voor vrijwel alle buurten de normkansen leiden tot voldoende basisveiligheid. Het is mogelijk om voor 43-5 en 43-6 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden 5 en 6) een klasse lagere kans te overwegen. Voor enkele buurten op Goeree Overflakkee (25-1) en voor de buurten die ook bedreigd worden vanuit Duitsland (42-1 en 48-1) is een goede crisismanagement strategie extra belangrijk om aan de basisveiligheid te voldoen.

Het is aan te raden om de komst van nieuwe overstromingsscenario's te blijven volgen en ook te analyseren of eventuele nieuwe overstromingsscenario's wel representatief zijn voor het bepalen van de gevolgen van een bres en geschikt om kanseisen aan keringen af te leiden. Het is de verwachting dat nieuwe scenario's die in de komende jaren verwacht worden voor Gelderland en Overijssel (waarvan waterdieptekaarten nog gemaakt zijn met verouderde modellen ("FLS modellen" een voorloper van Sobek) leiden tot een minder ernstig overstromingsverloop vanwege de minder grote bressen die nu gebruikt worden in overstromingssimulaties.

2.3 Evacuatiefracties

2.3.1 Toelichting gebruikte evacuatiefracties

De evacuatiemogelijkheden zijn bepaald op basis van expertschattingen en met behulp van uitkomsten van verkeersmodellen. De methode is overgenomen uit WV21 (Maaskant et al., 2009). Hierbij is er vanuit gegaan dat iedere gebeurtenis uniek is en dat zowel meer voorspelbare als totaal onverwachte dijkdoorbraken kunnen optreden. Nederland is ingedeeld in een aantal gebieden zoals bovenrivierengebied, benedenrivierengebied, noordelijke kust, zuidelijke kust en westelijk en oostelijk merengebied. Voor ieder van deze gebieden is met experts geschat hoe groot de kans is dat 4, 3, 2 of 1 dag voor een doorbraak wordt besloten tot evacuatie en wat de kans is op een onverwachte doorbraak. Vervolgens is uit resultaten van sommen met verkeersmodellen voor die gebieden gehaald wat het evacuatiepercentage is als de evacuatie normaal, goed georganiseerd of chaotisch verloopt. Op basis van deze aanpak zijn 13 evacuatiepercentages bepaald: $(4 * 3 + 1)$: 4 beschikbare tijden (4, 3, 2, 1 dag beschikbare tijd) en 3 mogelijke evacuatiekarakteristieken (normaal, goed en chaotisch) plus een onverwachte doorbraak. Ook is aangenomen dat een bepaald percentage mensen geen gehoor geeft aan de oproep tot evacuatie. Van deze 13 scenario's is de kans geschat en is vervolgens de resulterende evacuatiefractie berekend (Maaskant et al., 2009). De evacuatieboom voor het rivierengebied is weergegeven in figuur 2.2.

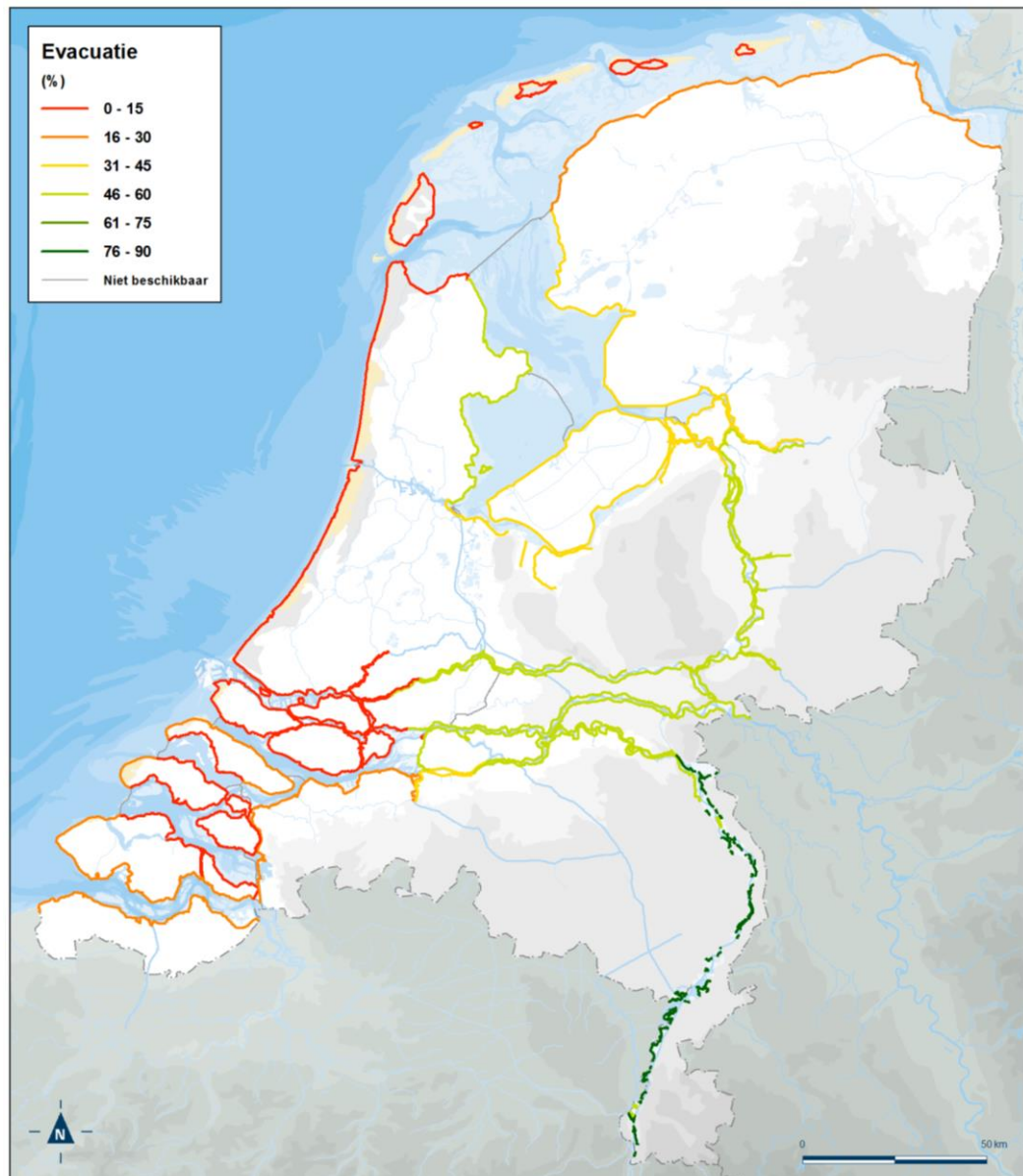


Figuur 2.2 Evacuatieboom met evacuatiefracties in het bovenrivierengebied. De vet gedrukte getallen geven het evacuatiepercentage horend bij de betreffende tak van de boom, het getal erachter de bijdrage van die tak aan de gemiddeld gewogen evacuatiefractie van 85%. Er is aangenomen dat 10% niet wil evacueren en dat de 85% evacuatie geldt voor de 90% van de inwoners die wil evacueren. Totaal is de verwachtingswaarde van de evacuatiefracties i dan ook $0,9 \cdot 85 = 76\%$. In de expertgroep is vervolgens een bandbreedte bepaald (Kolen et al, 2013) waarvan de ondergrens ligt op 56%. Die waarde is tenslotte gebruikt in de berekeningen van de criteria achter de normen.

In het Deltaprogramma is echter besloten om in plaats van de verwachtingswaarde, een conservatieve aanname te gebruiken bij de berekening van het LIR. Hiertoe is een bandbreedte geschat om de verwachtingswaarde en is de onderkant van die bandbreedte gebruikt.

De gebruikte evacuatiefracties zijn gegeven in figuur 2.3. De Waddeneilanden, het benedenrivierengebied en delen van de Zeeuwse en Zuid-Hollandse kust hebben de laagste evacuatiefracties. Deze gebieden zijn lastiger te evacueren en bovendien is storm moeilijker te voorspellen dan een hoge rivieraafvoer. Het benedenrivierengebied wordt vrijwel uitsluitend bedreigd als de Maeslantkering onbedoeld niet sluit. Dit is pas laat bekend, namelijk als deze zou moeten sluiten. Bovendien is in dit benedenrivierengebied de bevolkingsdichtheid groot in verhouding met de wegcapaciteit. Evacuatie is dus lastig in dat gebied.

De evacuatiefracties zijn groter in het bovenrivierengebied: rivierafvoeren zijn gemakkelijker te voorspellen en ook is in het algemeen de wegcapaciteit in verhouding met de bevolkingsdichtheid gunstiger. Echter, ook in het rivierengebied is de kans op een onverwachte doorbraak meegenomen.



Figuur 2.3 De gehanteerde evacuatiefracties bij de verschillende dijktrajecten (bron: figuur 3.3 Slootjes & Van der Most, 2016a)

In paragraaf 2.3.2 wordt het effect getoond van het gebruik van de verwachtingswaarde in plaats van de ondergrens van de evacuatiefractie. In paragraaf 2.3.3 wordt specifiek ingegaan op de Waddeneilanden.

2.3.2 Effect gebruik verwachtingswaarde evacuatiefractie

Om te komen tot de normen is voor de evacuatiefractie een ondergrenswaarde gebruikt in plaats van de verwachtingswaarde. In een eenvoudige analyse is gekeken naar het effect van het gebruik van de verwachtingswaarde van de evacuatiefractie.

Stel dat de evacuatiefractie verandert van 0,44 naar 0,55 en dus de achterblijffractie van 0,56 naar 0,45, dan neemt het LIR af tot een waarde van 0,8 maal de oude LIR waarde (Immers: $0,45/0,56 = 0,8$). Dit voorbeeld geldt voor onder andere traject 10-2 (Mastenbroek 2) waar de LIR-kanseis hiermee verandert van een 1/1800 naar een 1/1450.

In gebieden met een zeer lage evacuatiefractie is het effect van een verbetering van die fractie op de LIR-waarde beperkt: zo is in het benedenrivierengebied met een evacuatiefractie-ondergrens van 8% de kans om achter te blijven 92%. Indien de evacuatiefractie zou verdubbelen naar 16%, dan neemt de kans om achter te blijven af tot 84%, een afname van 7%. In het rivierengebied zou het verhogen van de evacuatiefractie van 56% naar bv. 78% een afname van de achterblijvers van 44 naar 22% betekenen; hierbij daalt het LIR met een factor 2. Bij ongeveer de helft van de trajecten ligt de factor waarmee het LIR verandert rond of boven de 0,8 en is het effect dus beperkt. Tabel 6.1 geeft voor alle dijktrajecten de factor waarmee de LIR-eis verandert bij gebruik van de verwachtingswaarde van het LIR.

Een verandering van de evacuatiefractie is vooral interessant daar waar het LIR de bepalende factor voor de norm is en dus waar met de MKBA een minder strenge, dus grotere, economisch optimale kans is bepaald. Tabel 2.1 geeft voor een aantal trajecten waarvoor de LIR de normbepalende factor is, de factor waarmee de LIR-eis verandert indien gekozen wordt voor de verwachtingswaarde van de evacuatiefractie in plaats van de ondergrens. De LIR-eis wordt een factor 2 minder streng wanneer de toenamefactor 0,5 bedraagt. De Waddeneilanden (dijkkring 1-5) (factor is 0,5) en enkele Limburgse dijkringen (59, 91, 92) (factor is 0,2) hebben de laagste factoren en daar is dus het effect van een aanpassing van de evacuatiefractie van de ondergrens naar de verwachtingswaarde het grootst. Ook in het bovenrivierengebied heeft een verandering een relatief groot effect: De trajecten in het bovenrivierengebied hebben een relatief hoge evacuatiefractie ten opzichte van andere gebieden. Een verdere verhoging hiervan leidt tot een percentueel grote reductie van het aantal slachtoffers en dus een grote afname van de LIR-eis.

Tabel 2.1 Trajecten waarvan het LIR het bepalend criterium is, en waarvan het gebruik van de verwachtingswaarde voor de evacuatiefractie i.p.v. de ondergrens een grote reductie van het LIR oplevert (de 15 met de grootste reductie zijn hier genoemd, de overige zijn opgenomen in tabel 6.1).

Norm traject	Naam traject	Toename factor	Afname factor	Opmerking
1-2	Schiermonnikoog	0,50	2,00	Waddeneiland, zie paragraaf 2.3.3
2-1	Ameland-Duin	0,50	2,00	Waddeneiland, zie paragraaf 2.3.3
2-2	Ameland	0,50	2,00	Waddeneiland, zie paragraaf 2.3.3
3-2	Terschelling	0,50	2,00	Waddeneiland, zie paragraaf 2.3.3
5-2	Texel	0,50	2,00	Waddeneiland, zie paragraaf 2.3.3
38-1	Bommelerwaard-Waal	0,55	1,83	Bovenrivierengebied: verwachtingswaarde evacuatiefractie = 0,76; ondergrens = 0,56.
42-1	Ooij- en Millingen	0,55	1,83	Bovenrivierengebied: verwachtingswaarde evacuatiefractie = 0,76; ondergrens = 0,56.
43-5	Betuwe, TCW 5	0,55	1,83	Bovenrivierengebied: verwachtingswaarde evacuatiefractie = 0,76; ondergrens = 0,56.
43-6	Betuwe, TCW 6	0,55	1,83	Bovenrivierengebied: verwachtingswaarde evacuatiefractie = 0,76; ondergrens = 0,56.
48-1	Rijn en IJssel 1	0,55	1,83	Bovenrivierengebied: verwachtingswaarde evacuatiefractie = 0,76; ondergrens = 0,56.
52a-1	Veessen- Wapenveld	0,55	1,83	Bovenrivierengebied: verwachtingswaarde evacuatiefractie = 0,76; ondergrens = 0,56.
52-2	Oost Veluwe-2	0,55	1,83	Bovenrivierengebied: verwachtingswaarde evacuatiefractie = 0,76; ondergrens = 0,56.
36a-1	Keent	0,59	1,71	Bovenrivierengebied: verwachtingswaarde evacuatiefractie = 0,76; ondergrens = 0,56.
39-1	Alem	0,59	1,71	Bovenrivierengebied: verwachtingswaarde evacuatiefractie = 0,76; ondergrens = 0,56.
40-2	Heerewaarden-Maas	0,59	1,71	Bovenrivierengebied: verwachtingswaarde evacuatiefractie = 0,76; ondergrens = 0,56.

2.3.3 Waddeneilanden

De Waddeneilanden zijn relatief dunbevolkt. Alle Waddeneilanden hebben zowel hoge gronden (de duinen) als gebieden die door overstroming bedreigd worden. In de duinen is ook enige bebouwing aanwezig.

Voor de Waddeneilanden zijn in de loop van de tijd sterk verschillende evacuatiefracties geschat (variërend van 0 tot 100% evacuatie). De verschillen in evacuatiefracties hebben te maken met de vraag welk gebied als veilig beschouwd wordt. Als er vanuit wordt gegaan dat inwoners van de dijkringen naar de hogere delen van het eiland kunnen gaan en daar veilig zijn, zal de evacuatiefractie heel hoog geschat worden: immers de afstand is kort, bij de meeste eilanden behalve Texel zelfs zeer kort) en er zijn voldoende wegen. Indien echter wordt aangenomen dat de inwoners geëvacueerd moeten worden naar het vasteland, dan zal een heel lage waarde voor de evacuatiefractie geschat worden. De kans dat alle inwoners voor de storm het vaste land bereikt hebben, is immers nihil.

Voor veel dijktrajecten van de Waddeneilanden is het LIR het normbepalend perspectief. Bij het bepalen van de LIR-eis is aangenomen dat evacuatie niet mogelijk is (0% evacuatie).

Als een fractie van 50% wordt aangenomen, neemt de LIR-eis met een factor 2 af. Wanneer 90% van de inwoners kan evacueren, neemt de LIR-eis met een factor 10 af.

Het gecombineerde effect van zowel het meenemen van evacuatiemogelijkheden en het corrigeren van de te hoog ingeschatte combinatiefactor vanwege bijdrages van zowel Noordzee als Waddenzee aan het LIR van de buurten in de dijkringen (zie paragraaf 2.2) versterkt de aanbeveling om de normen voor de Waddeneilanden te heroverwegen nog verder.

2.4 Mortaliteitsfuncties en toepassing bij bepaling van het LIR

Mortaliteitsfuncties

De mortaliteit wordt berekend met mortaliteitsfuncties waarin de mortaliteit gegeven is als functie van waterdiepte, stroomsnelheid en stijgsnelheid. Deze overstromingskarakteristieken worden bepaald met overstromingssimulaties horend bij een representatieve set potentiële breslocaties en buitenwatercondities.

Jonkman (2007) heeft drie gevaarzones onderscheiden en voor alle drie een mortaliteitsfunctie afgeleid. Maaskant *et al.* (2009) heeft een overgangszone geïntroduceerd, om de overgang tussen de zones geleidelijker te maken. Dit resulteerde in de volgende slachtofferfuncties voor vier zones:

- 1 *De breszone*: zone met zeer grote stroomsnelheden en veel energie:
In deze zone is het product van de diepte en stroomsnelheid groter dan 7 m²/s en de stroomsnelheid groter dan 2 m/s. De mortaliteit in deze zone is op 1 gesteld. In deze zone ontstaat soms een diep kolk gat (een wiel) en kunnen woningen instorten.

$$F_D = 1$$

- 2 *De zone met snel stijgend water*: Zone waarin de waterdiepte in minder dan 23 minuten stijgt van 0,02m naar 1,5m diepte (waar de stijgsnelheid over de eerste 1,5 m gemiddeld groter is dan 4 m/uur):

$$F_D(h) = \Phi_N \left(\frac{\ln(h) - \mu_N}{\sigma_N} \right) \quad F_D(h) = \Phi_N \left(\frac{\ln(h) - \mu_N}{\sigma_N} \right)$$

$$\mu_N = 1,46 \quad \sigma_N = 0,28 \quad \mu_N = 7,60 \quad \sigma_N = 2,75$$

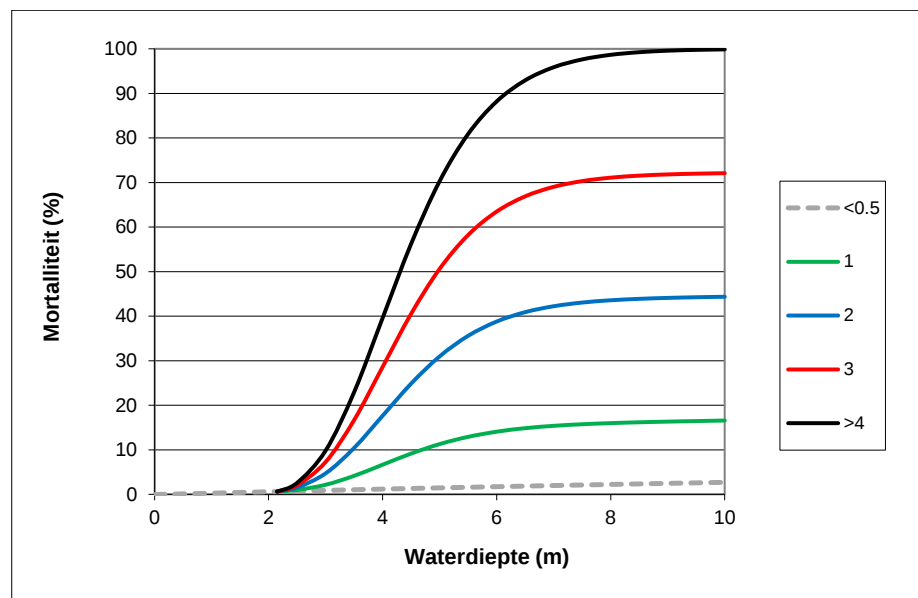
- 3 *Zone met zeer langzaam stijgend water*: Zone waarin de waterdiepte na 3 uur nog geen 1,5m heeft bereikt. (De stijgsnelheid is kleiner dan 0,5m/uur over de eerste 1,5 m waterdiepte).

$$F_D(h) = \Phi_N \left(\frac{\ln(h) - \mu_N}{\sigma_N} \right)$$

$$\mu_N = 7,60 \quad \sigma_N = 2,75$$

- 4 *Overgangszone*: Zone waarin de stijgsnelheid tussen de 0,5 en 4m/uur ligt: Hierin wordt de mortaliteit lineair geïnterpoleerd tussen de zones met snel en zeer langzaam stijgend water op basis van de waarde voor de stijgsnelheid (zie figuur 2.4).

Figuur 2.4 toont de slachtofferfuncties voor de zones 2, 3 en 4.



Figuur 2.4. De mortaliteit (in procenten) als functie van de waterdiepte voor locaties met een stijgsnelheid kleiner dan 0,5m/uur, groter dan 4 m/uur en voor enkele tussenliggende waarden (stijgsnelheden van 1,2 en 3 m/uur).

Discussie over de functies en lopend onderzoek

De mortaliteitsfuncties zijn voornamelijk gebaseerd op gegevens van de Watersnoodramp in 1953. De relatie tussen waterdiepte en mortaliteit geldt dus voor de situatie van destijds met de toenmalige sterkte van gebouwen en opties voor getroffenen om te communiceren en vluchten. De huidige situatie is anders: gebouwen zijn van betere kwaliteit, transport- en communicatie zijn sterk verbeterd maar er wonen ook meer mensen op gevaarlijke plekken en er is minder kennis van de directe omgeving en veilige locaties daarin. De mortaliteitsfuncties geven waarschijnlijk een overschatting van de mortaliteit, zeker voor door rivieroverstromingen bedreigde gebieden (De Bruijn & Slager, 2014). Er is onderzoek gedaan naar gebouwsterkte waaruit blijkt dat destijds erg veel slachtoffers vielen door instortende huizen, terwijl de kans dat moderne betonnen woningen instorten nu heel klein is. De grotere sterkte van gebouwen leidt mogelijk tot lagere mortaliteitswaarden. Ook is aankomsttijd niet meegenomen in de huidige slachtofferberekening ten behoeve van de normering en deze is wel van invloed, zeker in gebieden met een aankomsttijd van meerdere dagen, waardoor er kans is het gebied alsnog te verlaten (na ontstaan van een bres).

Er is een kennisalliantie opgericht met daarin Rijkswaterstaat, de Technische Universiteit Delft, Deltares en HKV waarin onderzoek gedaan wordt naar evacuatie, mortaliteit, en slachtoffer risicoanalyse. Er zijn echter nog geen nieuwe functies officieel vastgesteld.

Er zijn wel mortaliteitsfuncties gegenereerd door Kolen *et al.* (2014) waarin onderscheid gemaakt wordt tussen mensen die zich binnen, in shelters of buiten bevinden en mensen die voorbereid dan wel onvoorbereid zijn. Deze mortaliteitswaarden zijn nog niet officieel geaccepteerd als standaardfuncties. Voor deze aanpak is een inschatting van de verdeling van mensen over de verschillende categorieën (binnen/buiten en voorbereid of onvoorbereid) vereist. Er wordt in de huidige toepassingen van deze benadering nog geen onderscheid gemaakt tussen locaties nabij de bres en locaties die pas na meerdere dagen onderlopen (De Bruijn & Kolen, 2020).

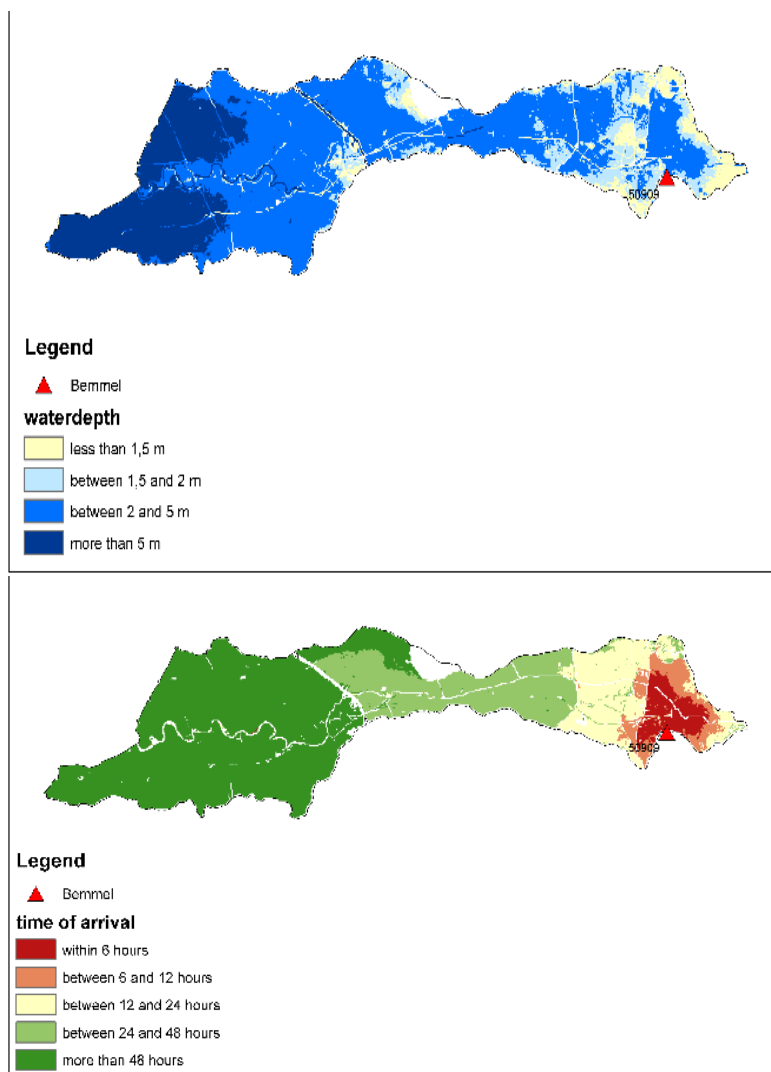
De Bruijn *et al.* (2015) publiceerden in 2015 een paper over het gebruik van gevaarkaarten in ruimtelijke ordening. Zij berekenden daartoe de “Flood Fatality Hazard”, een indicator gelijkwaardig aan het LIR, en het Lokaal Schadegevaar. In de LIR kaarten is hierbij wel de aankomsttijd meegenomen.

Aankomsttijd

De mortaliteitsfuncties worden toegepast op alle inwoners die niet geëvacueerd zijn op het moment dat de dijk breekt. Een deel van deze ‘achterblijvers’ zal het gebied nog verlaten voordat het water hun huis bereikt, zeker in gebieden die ver van de bres afliggen. De aankomsttijd, de tijd tussen het moment van breken en het moment waarop het water bij de woning aankomt, is dus van invloed op het aantal aanwezigen: Het meenemen van aankomsttijd van het water in de slachtofferanalyse zou een reductie opleveren van het aantal mensen dat blootgesteld wordt en waarvan de mortaliteit wordt berekend. Aanpassing van de berekening van mortaliteit en vluchtmogelijkheden kunnen leiden tot lagere LIR-eisen in de gebieden benedenstrooms van grote rivierdijkkringen zoals in dijkkring 15, 16, 36, 43, 44, 45, 48, en 52, waar het water tegen de westelijke dijk aanloopt, en dan snel stijgt. De scenario's met een bovenstroomse doorbraak leiden dan immers tot een lagere mortaliteit. Overigens kan in veel van die gebieden de kering ook benedenstrooms breken, een scenario waarin de aankomsttijd veel korter zal zijn.

Buurtgrenzen

Voor de bepaling van de faalkanseis vanuit het LIR is de mediane waarde per buurt bepaald op basis van het CBS buurtenbestand uit 2008. Deze mediane waarde is soms gevoelig voor de precieze grenzen van buurten (zie bijvoorbeeld Brussee, 2020). De gevoeligheid van de LIR-eis voor deze buurtgrenzen kan beoordeeld worden door de LIR-eis voor de trajecten waar deze bepalend is met een nieuw buurtenbestand te bepalen en eventueel naast de mediane waarde (50% waarde) ook bijvoorbeeld de 80% waarde in beeld te brengen. De effecten zullen naar verwachting zeer lokaal zijn.



Figuur 2.5 geeft de maximale waterdiepte (boven) en aankomsttijden (onder) voor dijkkring 43 bij een doorbraak te Bommel bij 1/1250 per jaar condities (Bron: De Bruijn & Slager, 2014).

Analyse mortaliteit

In tabel 2.2 is de mortaliteit getoond voor dijktrajecten met het LIR als maatgevend criterium met een mortaliteit groter dan 5% (op basis van de factsheets van Min. I&M (2016b)). Deze dijktrajecten zijn nagelopen en de toelichting is gegeven in de laatste kolom. In de meeste dijktrajecten waar de norm bepaald is door het LIR en een mortaliteit groter dan 10% is berekend wordt het snel diep. Deze gebieden zijn dan ook echt gevaarlijk en de hoge mortaliteit is verklaarbaar. Er zijn enkele uitzonderingen die nadere beschouwing vragen, namelijk 38-1 (Bommelerwaard) en 48-1 (Rijn en IJssel). Ook zijn er trajecten in dijkkring 43 waar met zeer grote factoren vanwege overlap van overstroomde gebieden door doorbraken van verschillende dijktrajecten gerekend is. Dit vraagt een nadere beschouwing van de methode. In dit geval is niet meegenomen dat sommige trajecten een lagere bijdrage aan het LIR leveren omdat deze vanuit de MKBA-eis een strengere norm hebben gekregen dan vanuit de LIR-eis, en er is uitgegaan van onafhankelijkheid tussen de dijktrajecten. Deze trajecten worden echter alle tegelijk bedreigd en zijn alleen gevaarlijk bij een hoge rivierafvoer op de Rijn. Ze zijn dus niet onafhankelijk.

Tabel 2.2 Dijktrajecten met een zeer hoge mortaliteitswaardes (> 5%) en norm bepaald door LIR (gele en oranje gekleurde trajecten vallen op, zie tekst boven de tabel) (bron van de mortaliteitswaarden: Min I&M, 2016b)

Traject	Mortaliteit van de bepalende buurt (%)	Bepalend criterium	Toelichting
30-2	77,50	LIR	Hansweert, snel diep
29-3	38,75	LIR	Middelburg, diep na ongeveer 15 uur
40-1	28,31	LIR/ MKBA	Ondergrens bepaald door LIR, signaleringswaarde door LIR & MKBA. Mortaliteit maal 2 gedaan i.v.m. overlap met 40-2.
14-2	15,19	GR – LIR*	Er zijn 3 buurten bij Kralingse Veer met hoge waardes. Het wordt daar binnen een uur 4 m diep.
38-1	12,93	LIR	BU 02970108, T _a > 35 uur, deel buitendijks. Lijkt onterechte waarde, een na hoogste buurt heeft mortaliteit van 4,4 % en een LIR-eis van 1/3800. Aankomsttijd andere buurt is ongeveer 24 uur
31-1	12,93	LIR	Het wordt diep en de aankomsttijd is kort in een deel van het gebied
19-1	11,84	GR (LIR)*	Volgens de simulatie wordt het snel diep in een buurt met 87 inwoners. Het water komt uit het Calandkanaal.
42-1	11,25	LIR	Buurt BU02820003 bij Ooij is maatgevend. Het wordt daar snel diep.
43-5	7,58	LIR	Er is 1 buurt, namelijk: BU02140501, bij de Nederrijn, net bovenstrooms van het Amsterdam Rijnkanaal met een hoge mortaliteit. De stijgsnelheid is daar groot en het wordt diep. Het water bereikt die buurt na ongeveer 13 a 15 uur. (De op een na hoogste buurmortaliteit is ongeveer een factor 4 lager). Er is voor de LIR-eis echter onterecht gerekend met 29% mortaliteit vanwege overlap met andere dijktrajecten. Indien voor de overige dijktrajecten in dijkkring 43 de normkans (ondergrens) wordt ingevoerd, dan wordt de kanseis niet 1/10.000, maar 1/3.000 per jaar (zie paragraaf 2.2).
40-2	5,99	LIR	Overlap met traject 40-1 zorgt voor een factor 2 op de LIR-eis.
14-10	5,66	LIR	Gerekend met mortaliteit van 17% i.v.m. overlap. Of dit terecht is zou nader bekeken moeten worden.
27-2	5,56	LIR	Tholen en st. Philipsland. Veel compartimentjes die snel diep kunnen worden. Gerekend met mort van 8,8% vanwege overlap van dijktrajecten..
29-2	5,44	LIR	Walcheren 2, veel kleine compartimentjes die snel diep kunnen worden.
43-6	5,15	LIR	Er zijn bepalende buurten: BU02810001 en BU028100002 in Tiel, Deze liggen bij de bres en hebben een hoge stijgsnelheid. Deze zijn terecht als gevaarlijk geïdentificeerd. Mortaliteit is ongeveer 5%. Echter, in de LIR-eis is gerekend met een mortaliteit van 20% vanwege overlap met andere dijktrajecten. Dat is niet logisch: de maatgevende buurt is slechts zo sterk bedreigd vanuit 1 dijktraject en niet vanuit de andere dijktrajecten. Met een kans van 1/3000 per jaar ipv 1/10000 voldoet het LIR ook (zie paragraaf 2.2).
14-3	5,10	LIR	De maatgevende buurt ligt bij de Maasdijk. Ook hier is met overlap gerekend.

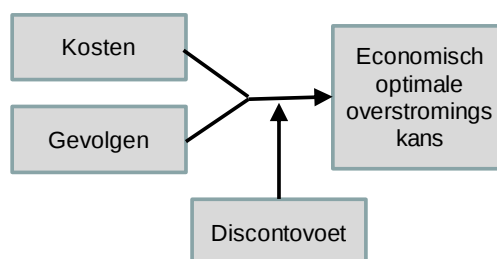
3 Bepaling economisch optimale kans

3.1 Methode en belangrijkste aannames

De economisch optimale kans is bepaald door de kosten van risicoreductie af te wegen tegen de bereikte risicoreductie. In de bepaling van de risico's worden behalve schades ook slachtoffers en getroffen en meegenomen door deze monetair te waarderen.

Voor het bepalen van de economisch optimale kans zijn de volgende belangrijke uitgangsparameters gebruikt (zie figuur 3.1):

- **Kosten** 10 keer veiliger: deze is gebaseerd op:
 - de decimeringshoogte⁸ van de waterstand (welke een indicatie geeft van de hydraulische belastingtoename horend bij een 10 keer kleinere kans),
 - aannames over het benodigde dijkprofiel om een waterstand te kunnen keren,
 - en de bijbehorende versterkingskosten.
- **Gevolgen** van overstromingen, die weer bepaald worden door:
 - Overstromingssimulaties (simulatie van een dijkdoorbraak resulterend in een kaart met de maximale overstromingsdiepte, stroomsnelheid en stijgsnelheid van het water);
 - Schadefuncties en slachtofferfuncties (waarmee de overstromingskarakteristieken vertaald worden in schade fracties en mortaliteitswaarden);
 - Economische schadebedragen, bedragen per getroffen en per slachtoffer;
 - Landgebruik en inwoneraantallen in 2050 (landgebruik van 2000, en verwachte veranderingen in de tijd).
- **Discontovoet**: rentevoet die bij een MKBA gebruikt wordt om de huidige (=contante) waarde te berekenen van de toekomstige kosten en opbrengsten van een project.



Figuur 3.1. Hoofdcategorieën van factoren voor het bepalen van de economisch optimale kans

Uit de MKBA volgt de economisch optimale kans. Zoals Duits (2010) liet zien heeft deze kans een vrij vlak optimum. Dit betekent dat als de faalkans van de kering een factor 2 a 4 afwijkt van de normkans, de totale som van investeringskosten en restrisico niet ver afwijkt van het economisch optimum.

⁸ De decimeringshoogte van de kruin is de kruinverhoging die nodig is om de overstromingskans gerelateerd aan het faalmechanisme overslag met een factor 10 te verkleinen. Deze decimeringshoogte houdt rekening met de waterstand, en golfhoogtes (zie Kind, 2011a).

Voor het bepalen van de economisch optimale kans ten behoeve van de normen is een vereenvoudigde formule gebruikt (*“De directe schattingsmethode”*) die gebaseerd is op uitkomsten van een geavanceerde methode van optimalisering verkregen in het WV21 project⁹ in een analyse op het niveau van dijkkringdelen¹⁰ en uitgaande van de aanname dat de overstromingskans in de referentiesituatie gelijk was aan de overschrijdingskansnorm die gold voor 2017 (Kind, 2011a). De directe schattingsmethode wordt gegeven door formule 1 (DPV, 2014):

$$\frac{1}{P_{opt}} = 38 \frac{S}{K} \quad (1)$$

Met:

P_{opt} = economisch optimale overstromingskans (1/jaar)

S = schade in 2050 (in M€)

K = Kosten om de overstromingskans met een factor 10 te verlagen (in €)

De discontovoet is in deze formule niet expliciet genoemd, maar is verwerkt in de factor 38; als de discontovoet verandert, verandert ook de factor. In de factor 38 is uitgegaan van een discontovoet van 5,5% (zie paragraaf 3.2)

De resulterende economisch optimale kansen variëren van 1/100 tot 1/100.000 (zie figuur 3.2). De kaart geeft in grote lijnen het beeld wat men zou verwachten met relatief strenge eisen waar grote schade en/of grote aantallen slachtoffers te verwachten zijn, zoals in het centrale rivierengebied, Zuidelijk Flevoland en langs de kust van Zuid-Holland, en op IJsselmonde.

Er zijn nieuwe inzichten en nieuwe kennis in alle componenten. In de volgende paragrafen wordt dieper in gegaan op nieuwe inzichten en effecten op respectievelijk:

- Discontovoet en economische groei
- Schade ten gevolge van overstromingen
- Kosten van dijkversterking.

⁹ WV21 = Waterveiligheid in de 21^e eeuw. Dit project werd uitgevoerd door Deltares gedurende de periode van 2008-2011. In dit project zijn potentiële normcriteria uitgewerkt en is de bijbehorende kanseis aan de waterkeringen bepaald. Veel informatie en methoden uit WV21 zijn hergebruikt bij het bepalen van de kanseisen op basis van de drie criteria ten behoeve van de normen. (Zie Kind, 2011a; Beckers & De Bruijn, 2011 en De Bruijn & Van der Doef, 2011).

¹⁰ In WV21 is op dijkkringdeelschaal gewerkt. Een dijkkringdeel was meestal of een dijkkring, of een deel van een dijkkring. Zo zijn bij de Gelderse Vallei 2 dijkkringdelen onderscheiden: het deel langs de Nederrijn en het deel langs het Veluwemeer. De dijkkringdelen zijn vaak, maar niet altijd, langer dan de huidige dijktrajecten in de Waterwet.



Figuur 3.2. Overzicht van de economisch optimale kansen

3.2 Discontovoet en economische groei

In het DPV-rapport (Slootjes & Van de Most, 2016) is voor de bepaling van de economisch optimale kans de zogenaamde *directe schattingsmethode* gebruikt (zie vorige paragraaf formule 1) met daarin een factor 38, die mede bepaald werd door de discontovoet. Die factor 38 resulteerde uit de toenmalige discontovoet van 5,5%. Op dit moment wordt een andere discontovoet geadviseerd (Kind, 2024). Deze paragraaf gaat over de betekenis van de discontovoet en de invloed van veranderingen daarin.

Met behulp van de discontovoet kunnen toekomstige kosten en baten op een 'juiste' manier gewaardeerd worden, zodat de verwachte maatschappelijke waarde van een project kan worden bepaald. Een investering is alleen rendabel als het extra welvaart oplevert en de contante waarde van de toekomstige baten hoger is dan de kosten nu. De discontovoet is een percentage waarmee verwachte kosten en baten in de toekomst worden teruggerekend naar een basisjaar. Wanneer de discontovoet lager is, tellen toekomstige kosten en baten zwaarder mee. De risicoreductie die in de toekomst bereikt wordt door de dijkversterking nu heeft dan een grotere netto contante waarde.

Er mag bij een lagere discontovoet meer uitgegeven worden om die risicoreductie te bereiken. In de MKBA leidt dit tot kleinere economisch optimale kansen en dus strengere eisen aan de dijken.

De discontovoet is deels afhankelijk van de verwachte economische groei: wanneer de economische groei afneemt, wordt meestal ook een lagere discontovoet geadviseerd. Bij een daling van de economische groei worden ook lagere toekomstige schades en dus kleinere risicoreducties gevonden. Doordat er dan in de toekomst minder te beschermen waarde is, mag er ook minder uitgegeven worden om die kleinere waarde te beschermen. De effecten van een lagere discontovoet en een lagere economische groei heffen elkaar dus deels op en dienen daarom in samenhang beschouwd te worden. In DPV is uitgegaan van een economische groei van 1,9% (overeenkomend met het Transatlantic Market Scenario (CPB, 2004)). Momenteel wordt in de WLO scenario's uitgegaan van 1 a 2% ([Welvaart en Leefomgeving 2015 \(wlo2015.nl\)](https://wlo2015.nl)).

Sinds 1 januari 2021 geldt er een nieuwe discontovoet die is bepaald door een werkgroep bestaande uit vertegenwoordigers van het CPB, het PBL, DNB en zes ministeries en enkele onafhankelijke experts (<https://www.rwseconomie.nl/discontovoet>). De werkgroep adviseert een discontovoet van 2,25 procent opgebouwd uit een risicovrij deel van -1,0 procent en een risicopremie van 3,25 procent. De nieuwe discontovoet voor kosten en baten leidt tot een factor 2,4 strengere normen (Kind, 2024) (zie tabel 3.1).

Niet alleen de discontovoet is gewijzigd, maar ook de verwachtingen over de economische groei over de periode van 2011-2050. In DPV is uitgegaan van een groei van 2011 tot 2050 van gemiddeld 1,9% per jaar. Dit leidde tot een groei met een factor $1,019^{39} = 2,083$ over de periode van 2011-2050.

In werkelijkheid is de economie tussen 2011 en 2021 gegroeid met een factor 1,23 (zie tabel 3.2). De verwachting is dat de jaarlijkse groei van 2022 tot 2050 ongeveer 1,5% is (tussen de 1 en 2%). Dit levert tussen 2022 en 2050 een groeifactor van $1,015^{28} = 1,517$ op. De verwachte groei van de economie tussen 2011 en 2050 komt dan uit op:

$$\begin{array}{rclcl} \text{groeifactor van 2011-2021} & \text{maal} & \text{groeifactor van 2022-2050} & = & \\ 1,23 & \text{maal} & 1,517 & = & 1,866 \end{array}$$

In DPV werd voor de periode 2011-2050 uitgegaan van een groei met factor 2,08. De nu verwachte groei tussen 2011 en 2050 is dan ook zo'n 10% kleiner dan in DPV was aangenomen, namelijk 0,9 maal zo klein ($1,866/2,083 = 0,9$).

Het gecombineerde effect van de nieuwe discontovoet en de nieuwe economische groei is $0,9 \cdot 2,24 = 2,0$. Dit betekent dat de economisch optimale kans van een traject met in DPV een economisch optimale kans van 1/1000 per jaar bij de nieuwe inzichten voor economische groei en discontovoet 1/2000 per jaar zou worden. Deze factor 2,0 is opgenomen in kolom F in de samenvattende tabel in hoofdstuk 6.

Tabel 3.1 Verschillende waarden van de discontovoet en effect op de economisch optimale overstromingskans van een hypothetisch traject met een economisch optimale kans van 1/1000 per jaar

Discontovoet	Economisch optimale kans (1/jaar)
5,5% (zoals gebruikt in de MKBA bij afleiden van de normen)	1/1000
2,25 % (huidige waarde van de discontovoet voor de schade)	1/2400

Tabel 3.2. Cumulatief effect van economische groei op de groei over de periode van 2011 tot 2021, toename in procenten, cumulatief effect in procenten ten opzichte van 2011 (referentie = 100)

Perioden	Toename	Cumulatieve effect op de economie
2011	2,4	100
2012	0,3	100,3
2013	0,8	101,1
2014	2,2	103,3
2015	7,1	110,7
2016	0,4	111,1
2017	4,3	115,9
2018	3,4	119,8
2019	2,5	122,8
2020	-4,3	117,5
2021*	4,5	122,8

3.3 Schade

3.3.1 Overzicht aannames/invoer

De economisch optimale kans is omgekeerd evenredig met de verwachte schade in 2050. Wanneer de verwachte schade toeneemt, zal de economisch optimale kans dus afnemen met dezelfde factor. Het gebruikte schadebedrag kan beschouwd worden als een gewogen gemiddelde schade voor alle mogelijke overstromingen ten gevolge van doorbraken in het dijktraject. Om deze te bepalen is een set representatieve overstromingssimulaties gebruikt bij maatgevende en boven-maatgevende condities. Bij het bepalen van dit gewogen gemiddelde is aangenomen dat bij overstromingen onder en rond normcondities één bres ontstaat en dat er meerdere bressen optreden bij meer extreme condities (De Bruijn & Van der Doef, 2011). Om de gevolgen te bepalen zijn de aannames gebruikt die zijn weergegeven in tabel 3.3.

De belangrijkste wijzigingen in aannames en gegevens ten opzichte van die gebruikt zijn voor het berekenen van de schade in 2050 zijn:

- 1 Overgang van het oude Standaard Schade- en Slachtoffermodel HIS-SSM naar een nieuw standaardmodel: SSM2017 met nieuwe gegevens, schadefuncties en schadebedragen. Het effect wordt in paragraaf 3.3.2 in detail besproken.
- 2 Het vaststellen van een ander economisch groeiscenario in de WLO scenario's. Deze is in de vorige paragraaf al genoemd in samenhang met de discontovoet. In paragraaf 3.3.3 wordt kort ingegaan op de verwachte nieuwbouw in relatie tot de normen.

- 3 Nieuwe overstromingssimulaties: bresgroei en standzekerheid van secundaire keringen kunnen heel relevant zijn voor de te verwachten schade en dus de economisch optimale kans en er lopen initiatieven om nieuwe overstromingssimulaties te maken. Voor heel veel gebieden zijn de overstromingssimulaties niet meer actueel vanwege ofwel veranderingen in het gebied ofwel het gebruik van verouderde modellen (bv. FLS). Er zijn nieuwe simulaties beschikbaar en de komende jaren worden voor nog meer nieuwe simulaties verwacht (zie paragraaf 3.3.4).
- 4 Veranderingen in evacuatiefracties, en mortaliteitsfuncties: er zijn nog geen officieel geaccepteerde veranderingen in evacuatiefracties of mortaliteitsfuncties. Wel wordt er onderzoek gedaan door onderzoeksinstituten, marktpartijen en RWS en door veiligheidsregio's op basis waarvan de evacuatiefracties mogelijk bijgesteld kunnen worden en er nieuwe inzichten komen met betrekking tot het rekening houden met de aankomsttijd van het water. In paragraaf 3.3.5 wordt kort toegelicht waarom deze veranderingen niet relevant zijn voor de economisch optimale kans.

In tabel 6.1 zijn alle effecten samengevat. Hierin zijn de effecten van de gewijzigde discontovoet en economische groei, het gebruik van het nieuwe SSM20150, en van nieuwbouw opgenomen. Het effect van eventuele nieuwe inzichten in evacuatiefracties is niet opgenomen, aangezien deze alleen doorslaggevend is voor de economisch optimale kans bij dijktrajecten waarvan de norm bepaald wordt door het LIR. Aangezien er geen significante wijzigingen zijn in de inzichten zijn met betrekking tot de waarde van een mensenleven, en in de raming van het effect van uitval van vitale en kwetsbare infrastructuur zijn deze ook niet meegenomen in de tabel in hoofdstuk 6.

Tabel 3.3 Overzicht van de invoerparameters voor de berekening van de schade in 2050 met een indicatie van wijzigingen in inzichten en een inschatting van het effect op de economisch optimale kans

Categorie	Aanname	Bron/ omschrijving	Wijziging	Discussie	Invloed op economisch optimale kans
Overstromings - simulaties (§ 3.3.4)	Bresgroei Verheij/ Van der Knaap (in Sobek) of FLS- methode (FLS is een verouderd hydrodynamisch model gebruikt in Overijssel en Gelderland)	In SOBEK realistische bressen. In FLS (zeer) grote bressen	Nieuwe modellen leveren kleinere bressen op dan oude FLS methode	De nieuwe simulaties zijn nog niet officieel opgeleverd. De verwachting is dat de overstromingen minder ernstig zijn.	Lokaal groot, eis wordt minder streng
	Breslocaties	VNK2 project	-	-	-
	Standzekerheid secundaire keringen (vaak is standzekerheid aangenomen)		Er komen nu scenario's waarin stand zekerheid niet is verondersteld	Bij standzekerheid zijn gevolgen kleiner, en dus economisch optimale kans minder groot	Lokaal groot
	Resolutie modellen	50/100m vaak FLS / Sobek2	Verwacht in nabije toekomst	Verwacht: Hogere resolutie: Overgang naar 3Di, Tygron & Dflow-FM	Meestal beperkt
	Nieuwe data: DEM/ ruwheidsgrid	AHN/LGN	Geactualiseer de modellen verwacht	Nieuwe versie data beschikbaar	Meestal beperkt

Categorie	Aanname	Bron/ omschrijving	Wijziging	Discussie	Invloed op economisch optimale kans
Slachtoffer- aantallen (§3.3.5)	Inwoners 2000 ¹	HIS-SSM 2005	SSM2017 (§ 2.3.2)		Zeer klein
	Evacuatiefracties	Expert judgement/ keuze, ondergrens	Evacuatie wadden mogelijk	vooral belangrijk voor Wadden	Voor Wadden groot
	Mortaliteitsfuncties	Maaskant et al. (2009)	-	Discussie meenemen aankomsttijd	Zeer klein
Gewogen schade 2050 (§3.3.2)	Landgebruik 2000	HIS-SSM 2005	SSM2017 (§ 3.3.2)	-	Meestal beperkt, Lokaal groot
	Inwoners 2000				
	Schadebedragen voor objecten, landgebruik ¹				
	Schadefuncties ¹				
	Schadebedragen voor slachtoffers en getroffenen	Value of a Statistical Life (VoSL) (Bočkarjova <i>et al.</i> , 2009)	-	-	-
	Toeslag voor indirecte kosten	Kind (2011a)	-	-	-
	Bevolkingsgroei & economische groei van 2011- 2050	Transatlantic Market scenario (1,9%)	Nieuwe scenario's		Groot, zie §3.2 en §3.3.3.

3.3.2 Effect nieuwe Schade en Slachtoffer Module

Bij het bepalen van de overstromingsschade is destijds het Standaard Schade- en Slachtoffermodel HIS-SSM gebruikt met daarin vooral landgebruiksgegevens uit 2000, en inwoneraantallen uit 2005. In 2017 is er een geactualiseerd model ingevoerd: het SSM2017. In het geactualiseerde schade- en slachtoffermodel zijn zowel geactualiseerde gegevens gebruikt, grotendeels uit 2014, als ook schadefuncties verbeterd (met name voor bedrijven) en schadebedragen geactualiseerd. De schadebedragen voor woningen zijn sterk gereduceerd terwijl de bedrijfsschade juist is toegenomen. In 2015 is een gekeken naar het effect van SSM2015 op de economisch optimale kansen voor de dijktrajectendijktraject¹¹ (Wagenaar, 2015). De analyse liet zien dat voor de meeste trajecten het effect beperkt is en dat slechts voor enkele trajecten met beperkte gevolgen de procentuele verandering bij gebruik van de nieuwe module meer dan een factor 3 bedraagt. Dit wordt hieronder toegelicht.

De resultaten van de consequentieanalyse laten zien dat het effect van de geactualiseerde en meer nauwkeurige gegevens het grootst is, wanneer het overstroomd gebied klein is.

¹¹ De gevoeligheidsanalyse is gedaan met SSM2015 welke vrijwel gelijk was aan SSM2017: De schadefuncties en schadebedragen zijn identiek, ook de databestanden zijn gelijk op die voor spoorwegen na. Het bestand van spoorwegen is geactualiseerd in SSM2017. De analyse is uitgevoerd met de destijds beschikbare set overstromingssimulaties.

De aanleg van een nieuwe woonwijk in een gebied met slechts weinig woningen kan immers een toename van het aantal woningen van meer dan 100% betekenen, terwijl de bouw van een extra woonwijk in een groot gebied als Centraal Holland de relatieve toename van het aantal woningen nihil is. De verbeterde nauwkeurigheid van SSM2017 met betrekking tot de locatie van woningen heeft ook een groter effect op de schade in kleinere dan in grotere gebieden. In HIS-SSM werd alle bebouwing in het centrum van een postcodegebied geprojecteerd, terwijl in SSM2017 de exacte locatie opgenomen is.

De effecten van de veranderingen in schade aan woningen en bedrijven hangen vanzelfsprekend ook af van het landgebruik in het bedreigde gebied: het effect van de lagere schadebedragen per woning is vanzelfsprekend het grootst in gebieden waar een groot deel van de schade bestaat uit woningschade. Het schadeverhogend effect van de nieuwe schadefuncties voor bedrijven is daarentegen juist het sterkst in gebieden waar de totale schade vooral bepaald wordt door bedrijfsschade.

Voor ieder dijktraject is de verandering in de schade bepaald die resulteert uit toepassing van het nieuwe model SSM2017. Voor de meeste dijktrajecten heffen de veranderingen elkaar deels op en wijkt de nieuwe schade horend bij het traject minder dan 50% af van de eerder met HIS-SSM bepaalde schade. Bij trajecten waar de schade relatief klein is, is het effect het grootste. Bij slechts twee dijktrajecten neemt de schade bij gebruik van SSM2017 met een factor groter dan drie toe: Roermond en Thorn Wessum (zie tabel 3.4). Deze dijktrajecten beschermen relatief kleine gebieden en geven bij doorbraak maar een kleine schade. Voor deze trajecten is de MKBA bepalend voor de norm. Er zijn 23 trajecten met een toename welke ligt tussen 1,5 en 3. Van 16 daarvan is de economisch optimale kans het maatgevend criterium en is deze verandering daarmee relevant (zie tabel 3.5). Een aantal van deze trajecten ligt langs de Limburgse Maas. Deze zijn nader beschreven in hoofdstuk 5.

Voor drie trajecten leidt het toepassen van SSM2017 in plaats van HIS-SSM tot een afname van meer dan 50%, namelijk: Zuid-Beveland West 3 (30-3), Ameland Duin (2-1) en Eijsden (95-1). De norm van de eerste twee is bepaald door het LIR, die van Eijsden door het LIR en de MKBA. Een sterke afname van de schade is voor deze trajecten dan ook minder relevant in het kader van de evaluatie van de normen.

Een volledig overzicht is opgenomen in tabel 6.1 (en voor de dijktrajecten langs de Limburgse Maas in hoofdstuk 5).

Tabel 3.4. Toename van de schade door geactualiseerde schadeberekening voor trajecten met een toename meer dan een factor 3^{12}*

Traject	Naam	Toenamefactor	Bepalend criterium
76-2	Roermond	4,1	MKBA/LIR
79-1	Thorn-Wessum	3,2	MKBA/LIR

¹² Ook voor 46-1 en 52_4 zijn hoge toenamefactoren gegeven in Wagenaar (2015). De hoge schade en het aantal slachtoffers bij 46_1 lijkt echter niet passend bij het huidige overstromingsscenario in LIWO. Het is niet duidelijk waar dit op gebaseerd is en daarom is deze niet overgenomen. Voor 52_4 zijn inmiddels betere overstromingssimulaties beschikbaar waaruit blijkt dat de overstroming daar minder ernstig is. De analyse van Wagenaar is daarom niet meer van toepassing en daarom weggelaten.

Tabel 3.5 Toename van de schade door geactualiseerde schadeberekening voor trajecten met een toename tussen een factor 1,5 en 3 en de MKBA als maatgevend criterium voor de overstromingskansnorm van alle trajecten behalve de trajecten langs de Limburgse Maas (zie daarvoor hoofdstuk 5).

Traject	Naam	Toenamefactor	Bepalend criterium
10-1	Mastenbroek 1	1,6	MKBA/LIR
35-1	Donge	1,50	MKBA
38-2	Bommelerwaard-Maas	1,51	MKBA
53-1	Salland 1	1,54	MKBA

3.3.3 Nieuwbouw in relatie tot de normen

Zoals in 2019 is uitgezocht (De Bruijn *et al.*, 2019), is het effect van recente nieuwbouw en nieuwbouwplannen op de economisch optimale kans in de meeste gebieden beperkt. Immers, in de bepaling van de economische optimale kans was oorspronkelijk rekening gehouden met 1,9% economische groei en in het algemeen passen de nieuwbouwplannen hierbinnen, of leiden ze slechts tot een beperkte toename van de economische schade in 2050 (De Bruijn, 2020 & De Bruijn *et al.*, 2019).

Ook al is nieuwbouw verdisconteerd, het feit blijft dat nieuwbouw het overstromingsrisico wel vergroot. Dit vergrotende effect kan beperkt worden door overstromingsgevaar mee te wegen bij de keuze van een bouwlocatie, de inrichting van het gebied of in bouwvoorschriften.

Ook is er gekeken naar locaties waar meer dan gemiddelde nieuwbouw is gepland en de mogelijke relevantie daarvan voor dijktrajecten waarvan de norm bepaald wordt door de MKBA-eis. In 2019 is aangegeven dat er nader gekeken zou moeten worden naar dijktrajecten 13-8 (Noord-Holland Markermeer 2) en 10-1 (Markermeer 1).

Voor deze trajecten is de economisch optimale kans het bepalend criterium voor de norm en is de reeds uitgevoerde nieuwbouw voor 2018 groot. Bovendien zijn er hier nog veel nieuwbouwplannen waardoor de schade in 2050 mogelijk meer dan een factor 3 toeneemt indien bij de locatiekeuze, inrichting en het ontwerp geen rekening gehouden wordt met overstromingsdreiging. De nieuwbouw zou daar kunnen leiden tot een kleinere economisch optimale kans en dus een strengere eis aan de kering. Er is voor die locaties daarmee extra aandacht nodig voor het inrichten volgens het principe van "Water en Bodem Sturend". Een kwalitatieve indicatie van de meest relevante locaties is ook gegeven in tabel 6.1.

3.3.4 Overstromingssimulaties

De totale schade is sterk afhankelijk van het overstromingspatroon. Ook de onzekerheid in de economisch optimale kans wordt voor een groot deel bepaald door de onzekerheid over het overstromingspatroon (Kind, 2011b)¹³. Er zijn vele onzekere factoren die het overstromingsverloop bepalen zoals moment van breken, breslocatie, bresgroei, afvoergolfvorm of stormduur, standzekerheid van secundaire keringen, en onzekerheden in het hoogtemodel en over hydraulische ruwheden.

Voor de normen zijn VNK2 overstromingssimulaties gebruikt die in het algemeen gemaakt zijn volgens een 'kookboek' (Kok & Van der Doef, 2006; Jongejan, 2012). Voor vrijwel alle gebieden is gerekend met Sobek2-modellen met een resolutie van 50 of 100m.

¹³ In die Monte Carlo analyse is aangenomen dat door onzekerheid in de overstromingssimulatie de schade varieert tussen 0,4 en 3 maal de gemiddelde schade en voor kleine bakjesdijkingen tussen 0,9 en 1,1 maal de gemiddelde schade. Op basis van deze aanname werd gevonden dat de onzekerheid in het overstromingspatroon bij grotere en/of gecompartmenteerde dijkingen dominant is voor de totale onzekerheid in de optimale kans.

Voor de provincies Gelderland en Overijssel is echter met een ouder hydrodynamisch model (FLS) gerekend en voor kleine dijkringen (e.g zoals bv. Alem) met een bakjesmodelaannname.

Standzekerheid keringen

In de meeste simulaties is aangenomen dat compartimenterende keringen en obstakels standzeker zijn. Voor enkele cruciale keringen is aangenomen dat de doorbraakkans 50% is, gegeven een overstroming. Deze aanname heeft in veel gevallen geleidt tot een strengere economisch optimale kans dan wanneer met standzekerheid zou zijn gerekend. Bij aanname van standzekerheid kunnen daarentegen stijg- en stroomsnelheden worden overschat in bovenstroomse compartimenten en juist onderschat in gebieden die door compartimenterende obstakels worden beschermd. Ook kan de omvang van het overstroomde gebied worden onderschat. De trajecten waarbij in de normering rekening gehouden is met een doorbraak van een secundaire keringen zijn (Min. I&M, 2016a (bijlage A):

- Flevoland (traject 8-3 en 8-4): Knardijk
- Dordrecht: (Traject 22-1): Wioldrechtse zeedijk,
- Land van Altena (traject 24-2) (aanwezigheid regionale kering),
- Donge (35-2) (aanwezigheid regionale kering).

De aannames met betrekking tot standzekerheid van regionale keringen en obstakels staan voor zover bekend niet ter discussie. Wanneer de aanname van standzekerheid wordt vervangen door de aanname dat de kering breekt, nemen de gevolgen in het algemeen toe, en zal de economisch optimale kans dus kleiner (strenger) worden.

Bijdrage scenario's met en zonder gesloten voorliggende kering

Voor het bepalen van de gevolgen van een doorbraak van de dijken langs de Hollandse IJssel speelt het al dan niet-sluiten van de Hollandse IJsselkering een rol. Voor de normen van de trajecten achter de kering zijn de scenario's van een doorbraak bij een open Hollandse IJsselkering bepalend. In dit scenario ontstaat een grote bres en loopt het water gedurende lange tijd het gebied in met grote gevolgen. Recentelijk is een bestuurlijk convenant gesloten waarbij de betrouwbaarheid sluiten van de Hollandsche IJsselkering wordt verhoogd. Hiermee wordt ook de bijdrage van scenario's met een gesloten Hollandse IJsselkering groter en dus worden de gemiddelde gevolgen gegeven een doorbraak kleiner. Hierdoor kan de norm van traject 15-3 en 14-1 (Hollandse IJssel Oost en West) wellicht een klasse minder streng worden gesteld.

Nieuwe overstromingssimulaties

In veel gebieden is begonnen met of wordt gesproken over het actualiseren van overstromingssimulaties. De huidige simulaties zijn verouderd qua gegevens en modellen en geven mogelijk geen accuraat beeld meer van de gevaarlijke gebieden en risico's. De nieuwe simulaties worden gemaakt met een fijnere ruimtelijke resolutie, met name rond obstakels en bij de bres.

Er zijn nieuwe overstromingssimulaties voor een aantal gebieden in Zeeland en de Zuid-Hollandse eilanden. De effecten van de nieuwe simulaties op de MKBA-eisen zijn niet berekend. Dit lag buiten de scope van deze studie. De verwachting is dat deze minder dan een factor 3 zijn, maar wanneer ook de aannames met betrekking tot bresgroei, en standzekerheid van keringen veranderd zijn, kunnen deze verschillen groter zijn.

In de komende jaren zullen er steeds meer nieuwe simulaties beschikbaar komen. Voor Gelderland en Overijssel zullen de oudere (FLS) simulaties vervangen worden door DHydro simulaties wat naar verwachting leidt tot minder grote bressen door een andere wijze van schematisering van bresgroei, en dus minder grote overstroomde gebieden en lagere schades.

Ook kan dit leiden tot nieuwe inzichten in systeemwerking van de Bovenrijn naar de IJssel (minder systeemwerking). Deze reductie in gevolgen leidt tot een grotere economische kans (en dus een soepeler eis aan de keringen). Het effect voor een overgang van Sobek2 simulaties naar nieuwe simulaties met bijvoorbeeld DHydro of nieuwe Sobek2 simulaties is waarschijnlijk kleiner en de richting onzekerder. Het is aan te raden het vrijkomen van nieuwe overstromingssimulaties in LDO en LIWO te monitoren.

3.3.5 Overige aannames die de schade beïnvloeden

De aannames met betrekking tot evacuatie, de waarde van een mensenleven en kritieke infrastructuur worden hieronder kort beschreven. De evacuatiefractie heeft maar beperkt invloed op de economisch optimale kans en er zijn voor zover bekend geen significante wijzigingen voorgesteld in de aannames 'waarde van een mensenleven' en 'schade door uitval van kritieke infrastructuur', daarom worden deze niet verder uitgewerkt in aparte paragrafen maar hier kort behandeld.

Evacuatiefractie

De mortaliteit en evacuatiefractie bepalen de verwachte aantallen slachtoffers en de slachtofferschade. Deze schade is meestal maar een beperkt deel van de totale schade. Voor 10 dijktrajecten vormt de bijdrage van de slachtofferschade meer dan 50% van de totale schade. Voor die trajecten geldt echter dat het resultaat van de LIR-berekening of de groepsrisicoberekening maatgevend is voor de norm, en niet de MKBA. Een analyse van het effect van een verbeterde evacuatie op het LIR is besproken in hoofdstuk 2.

Het meest extreme voorbeeld van een dijktraject waar de slachtofferschade bepalend is voor de totale schade is dijkkring 19 (Rozenburg) waar de totale schade in 2050 geraamd is op ongeveer 24 miljard euro en waar de bijdrage van slachtofferschade maar liefst 21 miljard euro is. Indien nu de evacuatiefractie van Rozenburg zou toenemen van 8% naar 12% (van de ondergrens naar de verwachtingswaarde uit de evacuatieboom), dan neemt de schade met ongeveer 4% af. Er is een evacuatiefractie van maar liefst 77% nodig om de schade met een factor 3 te reduceren. Een dergelijke wijziging in de evacuatiefractie is niet voorzien.

Waarde van een mensenleven

De aannames met betrekking tot de waarde van een mensenleven (VSOL (Value of a Statistical Life) en de opslagfactoren voor missende posten en indirecte schades staan momenteel niet ter discussie. De VSOL is onzeker en is gesteld als een waarde tussen 1 en 10 M€/jaar. in de MKBA is gerekend met 6,7 M€/jaar. Een VOSL van 1,4 of respectievelijk 11,3 miljoen euro leidde in WV21 gemiddeld tot respectievelijk een 17% grotere en 11% kleinere economisch optimale overstromingskans. De invloed van deze waarde is dus beperkt, behalve bij trajecten waarvan de schade door slachtoffers is gedomineerd (Kind, 2011a). Er is een aantal trajecten waar ruim 50% van de totale schade bestaat uit schade door slachtoffers. Voor al die trajecten geldt dat een lagere waarde van het VOSL weliswaar wel de economisch optimale kans kan beïnvloeden, maar dat de LIR-eis bepalend is voor de norm.

Vitale infrastructuur

De opslagfactoren en factoren voor missende posten zijn opgelegd op de uitkomsten van HIS-SSM zoals beschreven in tabel 3.6. De totale opslag is 50%. Op de totale schade is bovendien een groeifactor voor economische groei gezet. Alle schadeposten nemen met die factor toe, dus bijvoorbeeld ook de schade ten gevolge van interruptie van kritieke infrastructuur. In De Bruijn *et al.* (2020) is bekeken of de gebruikte aannames voor schade aan kritieke infrastructuur plausibel zijn voor het Rijnmond-Drechtsteden gebied. Daar werd gesteld dat de werkelijke schade door uitval van kritieke infrastructuur niet bekend is.

Op basis van de aanwezige kritieke infrastructuur en economische bijdrages van sectoren is geconcludeerd dat de bedragen in het algemeen plausibel zijn. Wel is aangeraden om een casestudie te doen voor een gebied met belangrijke vitale infrastructuur met een overstromingsscenario in samenwerking met beheerders van die kritieke infrastructuur, de veiligheidsregio en economen om meer inzicht te krijgen in de bijdrage van de uitval van kritieke infrastructuur aan economische schade en bepalende factoren daarvoor.

Tabel 3.6. Samenstelling van de opslag op de materiële schade in de MKBA (bron: Kind, 2011a).

Posten die via een opslag op schade van HIS-SSM meegenomen worden	Opslag	Reden
1. Kosten van hulpverlening, evacuatie, opruiming en nazorg	10%	Niet in HIS-SSM
2. Schade van directe en indirecte bedrijfsuitval	9 – 19%	Onderschatting duur en scope van effecten
3. Indirecte effecten van doorsnijding van infrastructuur	2 – 14%	Onderschatting mobiliteitseffecten
4. Overige: afhandelingkosten, uitval van woningdiensten, doorsnijding nutsleidingen & communicatieverbindingen, lange termijn impact op het investeringsklimaat, LNC-waarden, onbekende posten	19 – 17%	Algemene opslag voor resterende, niet expliciet gewaardeerde effecten
Totaal – interval	40 – 60%	
Totaal – middelpunt	50%	
Factor	1,5	

3.4 Kosten van dijkversterking

3.4.1 Overzicht methode kostenbepaling

Om in het Deltaprogramma Veiligheid (DPV) de economisch optimale overstromingskansen te berekenen is gebruik gemaakt van de zogenaamde 'Directe Schattingsmethode' (zie paragraaf 3.1). In de directe schattingsmethode wordt gebruik gemaakt van "de kosten om een factor 10 veiliger te worden" (zie bijlage A). Dit in de veronderstelling dat de kosten van een versterking redelijk constant zijn in de buurt van een optimale verhoging en dat die verhoging in de buurt ligt van een decimeringshoogte.¹⁴ De kosten om een factor 10 veiliger te worden zijn dus lineair gerelateerd aan de economisch optimale kansen die uit de MKBA komen. In figuur 3.3 zijn de gemiddelde dijkversterkingskosten per kilometer dijk voor een factor 10 veiligere dijk weergegeven. De kosten variëren van minder dan 2 tot ruim 15 M€/km. Deze kosten gelden voor een dijk die al op orde is (dus geen zwakke plekken meer heeft) en geen overhoogte heeft. Zo'n dijk zal voor grofweg de hele lengte versterkt moeten worden om een hogere veiligheid te bieden.

¹⁴ Decimeringshoogte: absoluut verschil in hoogte tussen het toetspeil en een waterstand met een overschrijdingsfrequentie die een factor 10 hoger of lager is dan die van het Toetspeil (VTV, 2006)



Figuur 3.3 De kosten voor 10 keer veiliger per traject in M€/ km (bron: Kind, 2011a)

Kostensystematiek algemeen

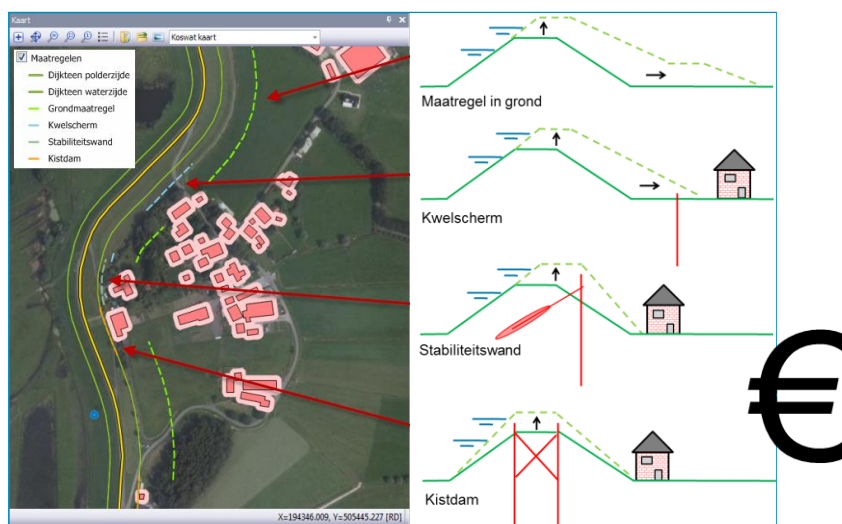
De kosten van dijkversterking om een dijk 10 keer veiliger te maken hangen af van:

- De dijk die in de referentiesituatie aanwezig is (of waarvan wordt uitgegaan dat deze aanwezig is).
- De extra waterhoogte die gekeerd moet worden om de dijk 10 keer veiliger te maken.
- De faalmechanismen die belangrijk zijn (overloop, piping of bijvoorbeeld macrostabiliteit), aangezien deze de te treffen maatregel en de benodigde ruimte bepalen. Welke faalmechanismen belangrijk zijn, hangt onder andere af van het profiel van de dijk en van de ondergrond.
- De beschikbare ruimte: wanneer er voldoende ruimte is kan de dijk verbreed worden ; is er geen ruimte, dan moet met een damwand of andere constructieve maatregel gewerkt worden. Deze constructieve maatregelen zijn vaak duur.

De kosten zoals gebruikt voor de normen (De Grave, 2011). Hierin is (een eerste versie van) het KOSWAT-model (KOSTen van het versterken van WATerkeringen) gebruikt om de kosten van de dijkversterking te bepalen. De maatregelen aan de kering die nodig zijn om een waterstand met een 10 keer kleinere kans te kunnen keren worden hierin beschreven in termen van kruinverhoging (ΔH) en verbreding van de dijkbasis ten aanzien van macrostabiliteit (ΔS) en piping (ΔP).

In de WV21-studie was slechts beperkte informatie beschikbaar over de staat van de dijk in de uitgangssituatie. De dijksterkte werd conform de destijds vigerende systematiek afgeleid uit de hoogte, in de veronderstelling dat de andere dimensies daarmee in balans waren en moesten blijven. Wanneer een dijk verhoogd moest worden, werd de dijk in de breedte als het ware mee opgeschaald voor macrostabiliteit en tegen piping. Hiertoe zijn in WV21 per dijkvak verbanden afgeleid tussen waterstandsstijging en benodigde kruinverhoging, en de benodigde verbreding van de dijkbasis (bijvoorbeeld: bij een waterstandsstijging van 1 m moet de kruin 1,5 m omhoog, moet de dijkbasis ten aanzien van macrostabiliteit 9 m breder worden en is een pipingberm van 18m nodig). Deze versterkingsdimensies waren als het ware aan elkaar gekoppeld. Om deze verbanden af te leiden, is gebruik gemaakt van de DijkAnalyseModule (DAM) waarin de dijken en ondergronden geschematiseerd zijn. Hierbij is gerekend met modellen als MStab (volgens de methode Bishop en Van) en verschillende pipingmodules (De Grave & Baarse, 2011). Zo kon bepaald worden hoeveel versterking nodig was voor een dijk met een tien maal kleinere faalkans.

De kosten van een dijkversterking om de dijk 10 keer veiliger te maken, hangen in sterke mate af van de ruimte die beschikbaar is naast de dijk. In KOSWAT, het programma waarmee de versterkingskosten zijn bepaald, wordt op basis van de beschikbare ruimte een maatregel gekozen. Op plaatsen waar de beschikbare ruimte groot genoeg is, wordt een dijkversterking in grond verondersteld; op plaatsen waar bebouwing in de weg ligt, wordt overgestapt op constructieve maatregelen die al naar gelang de beschikbare ruimte kleiner is, steeds zwaarder en duurder worden. Infrastructuur in de versterkingszone wordt vervangen. Het principe is weergegeven in figuur 3.4.



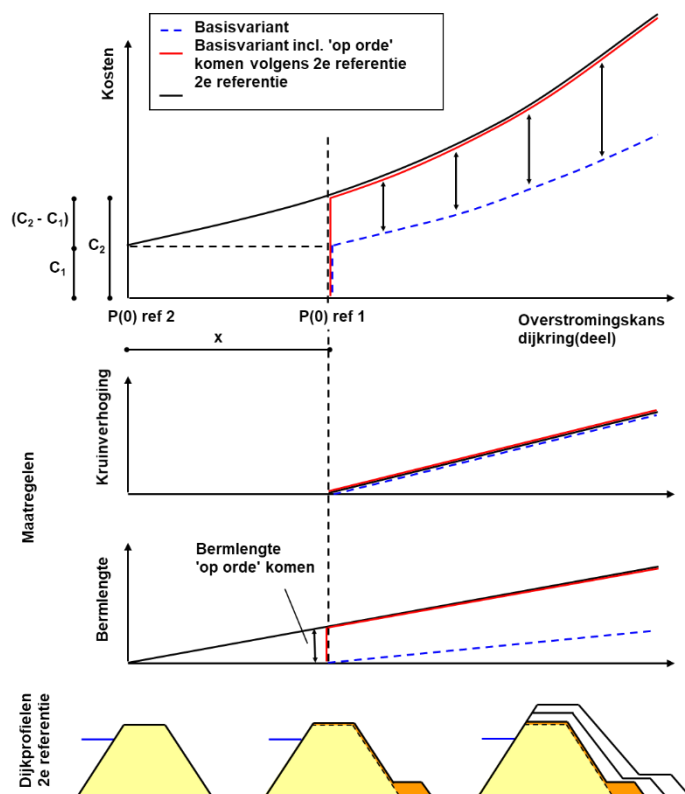
Figuur 3.4. Veronderstelde verdringingsreeks versterkingsmaatregelen in KOSWAT: van een gronddijk naar steeds zwaardere en duurder constructieve maatregelen indien noodzakelijk door ruimtegebrek

Uiteindelijk worden de totale investeringskosten bepaald voor de maatregelen en dimensies met behulp van eenheidsprijzen en opslagfactoren volgens de Standaard Systematiek voor Kostenramingen in de GWW sector (SSK-systematiek).

In WV21 werd er (in de tweede referentie) vanuit gegaan dat de dijken in de referentiesituatie vrijwel op orde waren. Om op orde te komen, dat wil zeggen, om er voor te zorgen dat de dijken een faalkans kregen getalsmatig gelijk aan de oude overschrijdingskansnormen, moest slechts iets tegen piping worden gedaan was de aanname. Om die reden is in de kostenbepaling aangenomen dat pipingmaatregelen getroffen moesten worden om de stap van de WV21-referentiekans naar “een dijk op orde” te maken.

Hiertoe moest de dijk worden verbreed, maar niet verhoogd. Vervolgens zijn de met DAM berekende verhouding met betrekking tot de benodigde verhoging en verbreding toegepast om de economisch optimale kans te bepalen. De werkwijze is toegelicht in figuur 3.5.

Voor de meeste dijkringdelen is er vanuit gegaan dat in de uitgangssituatie de faalkansen veelal een factor 2 tot 5 maal groter waren dan de getalswaarde van de oude overschrijdingskansnorm. De kosten om de dijk 10 keer veiliger te maken, zijn de kosten om van die referentiekans te komen tot een 10 maal kleinere kans. De betekenis van een factor 10 keer veiliger betekent voor dijkringdeel 17-1 bijvoorbeeld het versterken van de dijk van een faalkans van 1/2.000 naar 1/20.000 per jaar, waarvan het voor het eerste deel (van 1/2000 naar de oude norm van 1/4000 per jaar) aangenomen is dat dit zou moeten door verbreding, of constructieve maatregelen die de kans op dijkfalen door piping reduceren en het restant door verhoging en bijbehorende verbreding.



Figuur 3.5 Werkwijze bij bepalen van kosten 10x sterker (De Bruijn & De Grave, 2019)

3.4.2 Nieuwe inzichten in de uitgangssituatie en dijkfaalmechanismen

Er zijn inmiddels betere gegevens beschikbaar over de profielen en ondergrond van de keringen. Ook zijn er nieuwe rekenregels ontwikkeld en opgenomen in het BOI (Beoordelingsinstrumentarium van Keringen) waaruit blijkt dat de actuele dijkfaalkansen soms groter zijn dan waar in van uit gegaan is.

Ook de benodigde versterkingsmaatregelen worden hierdoor in de praktijk nu anders vastgesteld dan waar vanuit is gegaan. Zo is de aanname dat het faalmechanisme piping de grote kansen bepaalt, niet correct voor bijvoorbeeld Rijnmond-Drechtsteden. Macroinstabiliteit speelt hier vaak een belangrijkere rol in de faalkansen dan piping. De benodigde maatregelen om 'op orde' te komen ten aanzien van de mechanismen piping en macroinstabiliteit zijn (veel) groter dan destijds voorzien.

De kosten om op orde te komen zijn buiten de normberekening gehouden, maar beïnvloeden in praktijk wel de keuze van maatregelen en daarmee ook de kosten om een dijk 'die op orde is' 10 maal veiliger te maken.

In de nieuwe ontwerpsystematiek (die ontwikkeld is na afronding van de analyses t.b.v. de normen) (Ontwerpinstrumentarium 2014) wordt heel specifiek per mechanisme gekeken wat nodig is om aan de gestelde norm te voldoen. Zo kan bijvoorbeeld een versterking voor alleen macroinstabiliteit voldoende zijn om het gewenste veiligheidsniveau te bereiken. Ook de kosten voor 10x veiliger *an sich* worden beïnvloed door de nieuwe rekenregels, omdat maatregelen voor macrostabiliteit en piping volgens de nieuwste inzichten zwaarder moeten worden bij een hogere waterstand en strengere norm. Intussen worden binnen het HWBP ook diverse innovatieve versterkingstechnieken ontwikkeld waarmee versterkingen goedkoper zouden moeten worden.

De effecten hiervan zijn nog niet gekwantificeerd. Experts verwachten dat de kosten hoger uit zullen vallen dan waar vanuit is gegaan (De Bruijn *et al.*, 2019), maar niet dat het tot een factor 3 hogere kosten zal leiden. Het is echter lastig om conclusies te trekken uit de enkele versterkingen die al hebben plaatsgevonden. Immers, de gebruikte kentallen zijn gemiddelde kosten per kilometer om 10 keer veiliger te worden, ervan uitgaande dat een kering 'op orde was' en dat dus de gehele dijk aangepakt moet worden. Een dijk met enkele zwakke plekken zal vermoedelijk goedkoper zijn om te versterken. Echter, de maatregelen zelf lijken duurder en zwaarder uit te pakken dan waar in WV21 van uitgegaan is. Vooral in stedelijke gebieden zoals in Zwolle zijn hoge kosten geraamd bij dijkversterkingsprojecten.

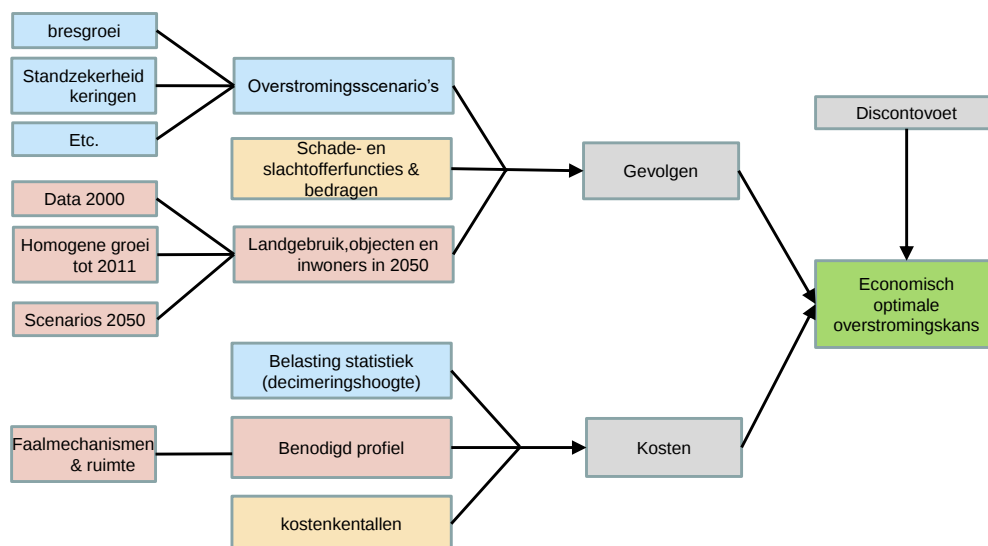
3.4.3 Conclusies met betrekking tot de kostenbepaling

Sinds de bepaling van die kosten (die is gebeurd in de periode 2009-2010) zijn de inzichten over de huidige sterkte van de dijken en het benodigd profiel horend bij een bepaalde faalkans gewijzigd. Ook worden er steeds meer alternatieve maatregelen en innovatieve oplossingen gebruikt die nog niet zijn meegenomen in WV21. Experts verwachten dat de kosten per kilometer hoger uitvallen dan aangenomen met name door de nieuwe inzichten in piping en macrostabiliteit. Als met deze nieuwe kosten de een economisch optimale kans zou worden berekend dan zou deze groter uitvallen. Aangezien het economisch optimum vrij vlak is (zie paragraaf 3.1), leidt overinvestering in het algemeen niet tot inefficiëntie: immers het risico neemt ook af.

De kostenschatting voor de kosten om een heel traject een factor 10 veiliger te maken uitgaande van een dijk die al op orde is (dus zonder zwakke plekken) is moeilijk te verifiëren. Immers, in de praktijk zijn dijken vaak nog niet op orde en is er sprake van zwakke plekken. De kosten die nu geraamd of gemaakt zijn, zijn dus een combinatie van de kosten om op orde te komen en om aan een strengere norm te voldoen. Ook is er sprake van inflatie. Toch is op basis van de realisatiekosten van het HWBP de verwachting van experts dat de gebruikte kosten in DPV eerder een onderschatting zijn dan een overschatting. Op basis van de totale ingeschatte verandering kan worden gekeken voor welke trajecten een toename in kosten zou kunnen leiden tot een grotere economische overstromingskans, en voor welke dit mogelijk bepalend is voor de norm. De kosten kunnen in de nabije toekomst beter bepaald worden wanneer er meer trajecten versterkt zijn.

3.5 Samenvatting analyse met betrekking tot de economisch optimale kans

De economisch optimale kans is bepaald met behulp van een vereenvoudigde 'Directe Schattingsmethode' met als invoer de drie componenten discontovoet, de verwachte schade in 2050 en de geschatte kosten om een traject 10 keer veiliger te maken (zie figuur 3.6). In alle drie de componenten zijn veranderingen van inzicht opgetreden.



Figuur 3.6. Overzicht van de aannames/input componenten in de economisch optimale kans

De verandering in de discontovoet betreft alle dijktrajecten en is relevant voor alle dijktrajecten waarvan de norm bepaald wordt door de economisch optimale kans.

De belangrijkste verandering in de component “Gevolgen” is de overgang naar het nieuwe Standaard- Schade en Slachtoffermodel 2017. Bij gebruik van het nieuwe standaardmodel in plaats van het oude HIS-SSM verandert de (reciproke van de) economisch optimale kans van drie trajecten met meer dan een factor 3, namelijk van de dijktrajecten Oost-Veluwe 4, Roermond en Thorn Wessum (52-4, 76-2 en 79-1). De gevolgen van een doorbraak van deze dijktrajecten zijn klein, waardoor nieuwbouw, of nieuwe bedrijven sneller leiden tot grotere relatieve veranderingen van de gevolgen dan in gebieden met hele grote overstromingsgevolgen. De economisch optimale kans wordt daar dan drie maal strenger. Dit betekent niet automatisch dat de norm ook strenger moet worden, dit blijft een bestuurlijk-politieke afweging en is ook afhankelijk van de onzekerheid in de gevolgen en de inschatting van andere veranderingen zoals die in de kosten. Voor nog eens 16 trajecten waarvan de economisch optimale kans het bepalend criterium is, wordt de economisch optimale kans meer dan een factor 1,5 strenger.

Bij kosten is er een algemeen gevoel dat de oorspronkelijke kostenschattingen te laag waren, maar zijn er nog geen geactualiseerde kentallen beschikbaar. Een verhoging van de verwachte kosten zou leiden tot minder strenge eisen op basis van de economisch optimale kans. Ook is onduidelijk in hoeverre de oude benadering nog past bij de nieuwe aanpak met meer innovatieve maatregelen. Deze maatregelen worden meestal toegepast wanneer ze goedkoper zijn. Het beter meenemen van deze maatregelen vraagt om actualisatie van het KOSWAT instrumentarium waarbij ervaringen van uitgevoerde versterkingen meegenomen kunnen worden. Op dit moment wordt deze actualisatie uitgevoerd.

De gerealiseerde en geplande nieuwbouw (die meegenomen wordt in de bepaling van het landgebruik in 2050) heeft nauwelijks effect op de verwachte schade in 2050: met nieuwbouw was bij het afleiden van de huidige normen namelijk al rekening gehouden. Slechts bij 13-8 (Noord-Holland Markermeer 2) en 10-1 (Mastenbroek 1) lijkt de nieuwbouw relatief meer toe te voegen aan de bestaande schade dan wat waar op gerekend was. Hier is een goede locatiekeuze, gebiedsinrichting en ontwerp dan ook belangrijk om te voorkomen dat de economisch optimale kans kleiner en dus strenger wordt in de toekomst.

Er zijn veel nieuwe ontwikkelingen ten aanzien van de overstroomingssimulaties. Veel waterschappen zijn bezig met het actualiseren van overstroomingssimulaties met nieuwe data en nieuwe modellen. Dit kan grote effecten hebben bij met name grote en/of gecompartmenteerde dijkkringen. De bresgroei en daarmee de instroom en dus gevolgen kunnen veranderen. Vooral in Overijssel en Gelderland is het raadzaam deze ontwikkelingen te volgen. Daar is de verwachting dat met de nieuwe modellen de gevolgen zullen afnemen, waardoor de economisch optimale kans zal toenemen.

De totale resultaten zijn samengevat in hoofdstuk 6.

4 Groepsrisico

Het groepsrisico geeft de kans op grote aantallen slachtoffers als gevolg van overstroming. Op basis van risicoanalyses zijn dijktrajecten geselecteerd waar de norm een klasse verzwaard is ten opzichte van de overstromingskans volgend uit de MKBA en LIR-analyse. Belangrijke invoerparameters voor de groepsrisico-analyse zijn: slachtofferaantallen en faalkansen. Zie voor meer informatie de toelichting in Slootjes & Van der Most, (2016a).

Omdat er geen aanwijzingen zijn dat de bevolkingsgroei achter dijktrajecten groter is geweest dan is aangenomen in WV21 of DPV, is er geen aanleiding de berekening van het groepsrisico om die reden te herzien. Dat betekent dat alleen de nieuwe inzichten die ook voor de berekening van het LIR en de MKBA relevant waren, nl. overstromingssimulaties, evacuatiefracties en mortaliteit ook hier relevant zijn. De wijzigingen in inzichten van die parameters zijn besproken in hoofdstuk 2 en 3.

De berekening van het groepsrisico is op eenvoudige wijze uitgevoerd. Op de lange termijn is inzicht in de kans op grote schades en slachtofferaantallen in Nederland, de meest bepalende gebeurtenissen daarvoor en eventueel mogelijkheden om de ontwrichting te beperken relevant. Het voorkomen of reduceren van maatschappelijke ontwrichting verdient nadere uitwerking door systeemanalyses mee te nemen waarin gekeken wordt naar de kans op meerdere bressen, en door herstel na een overstroming te analyseren en eventueel als dat haalbaar is, te versnellen.

5 De dijktrajecten langs de Limburgse Maas

5.1 Inleiding

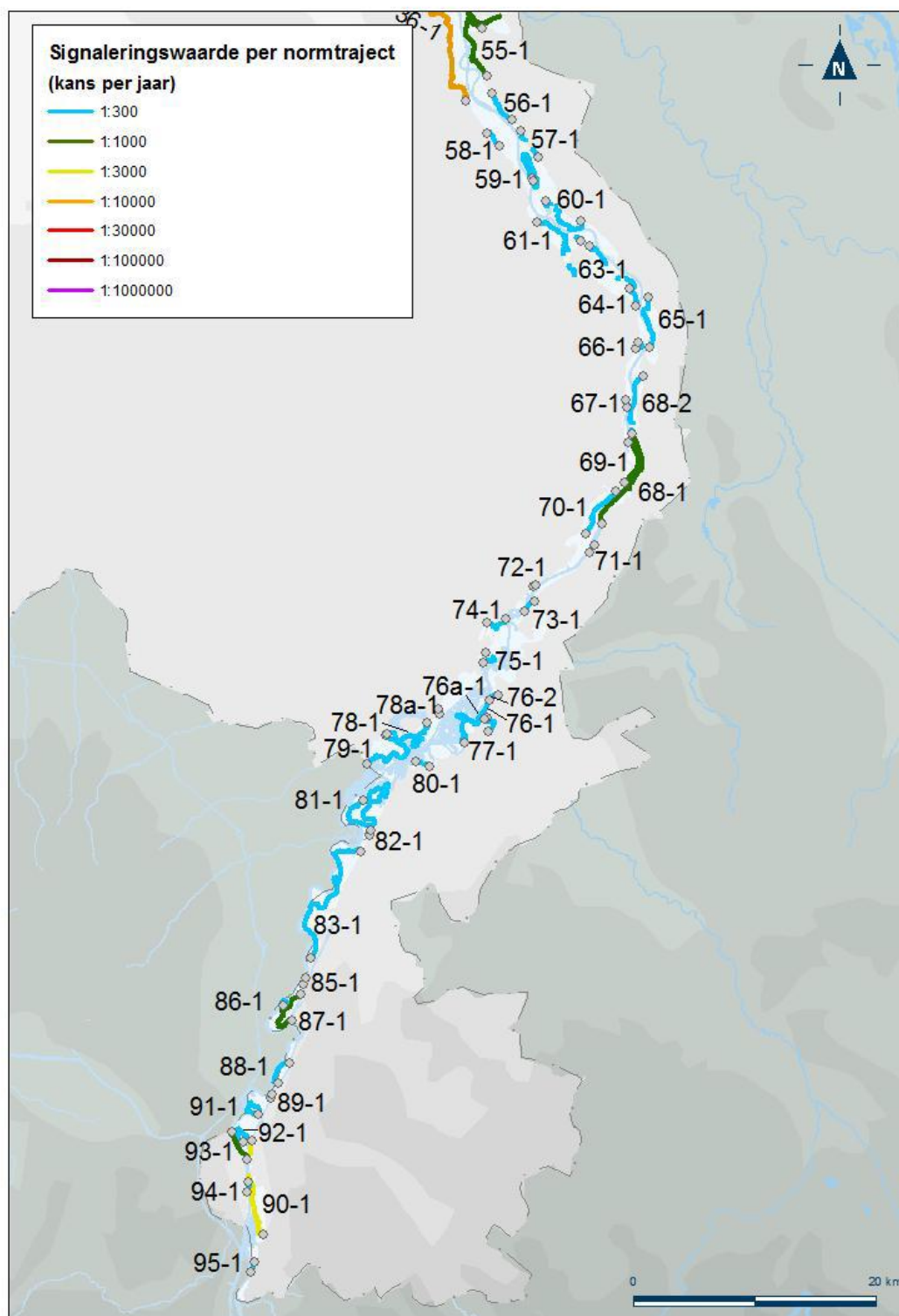
5.1.1 De huidige normen en hun achtergrond in vogelvlucht

De aanpak die in Limburg gebruikt is voor het bepalen van de normen wijkt enigszins af van die in de rest van Nederland. Dit komt vooral doordat de Limburgse Maas, in tegenstelling tot andere riviertrajecten, door een natuurlijk rivierdal loopt en niet langs grote door dijken beschermde polders. De gevolgen van overstromingen zijn daardoor in het algemeen minder groot: het bedreigd gebied is kleiner en het verdrinkingsgevaar is minder doordat evacuatie vaak eenvoudiger is. Grote delen van het Maasdal waren tot 1995 nog onbedijkt. De hoogwaters van 1993 en 1995 leidden tot het besluit om kades aan te leggen om dorpen en kwetsbare gebieden te beschermen tegen hoogwater. Door de nieuwe normen zullen veel van deze relatief nieuwe kades versterkt moeten worden.

In Limburg liggen 45 dijktrajecten met een totale lengte van ongeveer 170 km (zie figuur 5.1). De normen voor deze dijktrajecten zijn in het algemeen veel minder streng dan in de rest van Nederland en variëren van 1/100 tot 1/1000 per jaar (ondergrens; respectievelijk van 1/300 tot 1/3000 voor de signaleringswaarde) (zie figuur 5.1). Voor het afleiden van de normen zijn hoofdzakelijk waterdieptes gebruikt die waren berekend door het Deltaprogramma Rivieren. De hiervoor gebruikte rivierafvoerniveaus en precieze berekeningswijze zijn niet bekend (bijlage H, p. 56 Min I&M, 2016). De bijbehorende gevolgen van deze waterdieptes zijn berekend met HIS-SSM. De evacuatiefracties zijn gesteld op 82% voor gebieden grenzend aan hoge gronden en op 50% voor gebieden die bij hoogwater omgeven zijn door de rivier ("eilanden"). Door Huizinga en Kok (2013) is vastgesteld dat de schades van de overstroming in 1993 in het Maasdal een factor 3 werden overschat door HIS-SSM. Om dit mee te nemen zijn de MKBA uitkomsten consequent afgerond naar de lagere, minder scherpe klassegrens dan in de rest van het land. Dit heeft in een beperkt aantal gevallen geleid tot een lagere, minder strenge, norm dan anders het geval zou zijn geweest..

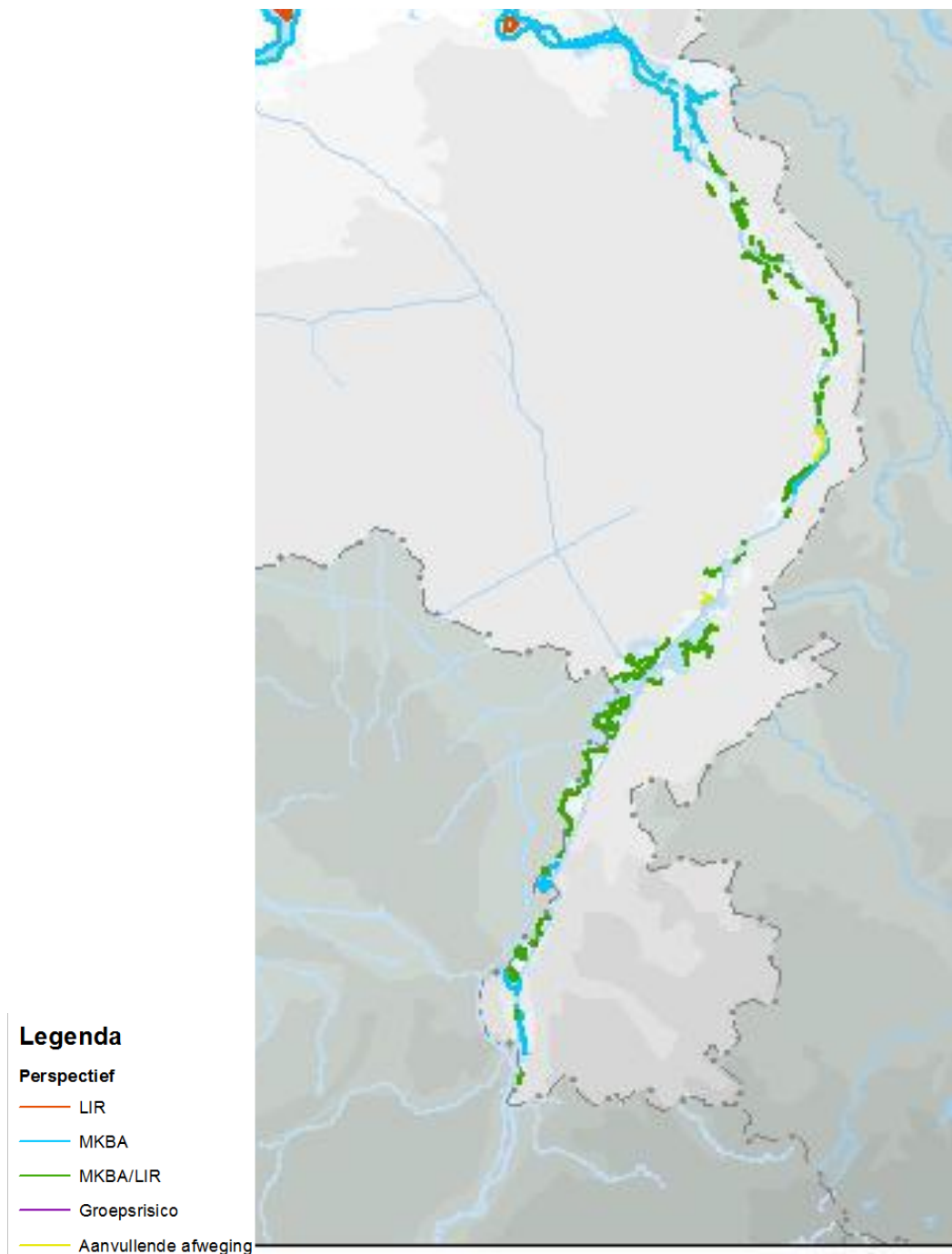
De analyse van de kanseisen die uitgevoerd is voordat de normen werden vastgesteld, leverde voor een aantal dijktrajecten overstromingskanseisen op groter dan 1/100 per jaar. Er is toen een bestuurlijk besluit genomen dat de laagste normklasse 1/100 moest zijn voor primaire keringen, ook als dat vanuit een risicobeheersingsperspectief niet logisch was.

De normen van de dijktrajecten langs de Limburgse Maas worden vrijwel allemaal bepaald door de MKBA-eis of zowel de MKBA als de LIR-eis (zie figuur 5.2). Ook is voor drie trajecten een aanvullende afweging gebruikt om de norm te bepalen (Min I&M, 2016b). Het groepsrisico is voor geen enkel traject in dit gebied dominant: het verwachte aantal slachtoffers bij dijkdoorbraak is immers beperkt. In deze studie wordt dan ook alleen gekeken naar de kanseis vanuit het LIR en de MKBA.



Figuur 5.1. De ligging van de dijktrajecten in de Limburgse Maas en de signaleringswaarde van de overstromingskansnorm per dijktraject (Slootjes en Van der Most, 2016, bijlage H)¹⁵

¹⁵ Met de Limburgse Maas wordt hier het bovenstroomse deel van de Maas bedoeld die in Limburg ligt en hierbij horen de dijktrajecten 54-1 tot en met 95-1. Dit deel werd vroeger aangeduid met 'onbedijkte Maas'. Dit, in tegenstelling tot de 'bedijkte Maas'. De onbedijkte Maas ligt voor het grootste deel in Limburg, enkele gebieden liggen in Noord-Brabant. Het geheel, inclusief de Brabantse delen worden hier bedoeld als gesproken wordt over de 'Limburgse Maas'.



Figuur 5.2. Het bepalend criterium voor de dijktrajecten in Limburg (bron: Slootjes & Van der Most, 2016, figuur 5.6)

5.1.2 Belangrijkste punten uit de discussie omtrent de normen

De nieuwe normen leiden tot een grote dijkversterkingsopgave in Limburg. Kok (2019) heeft in een advies aan Gedeputeerde Staten van Limburg (10-12-2019) gekeken naar de vraag: “Kan het verstandig zijn om de normen voor de primaire keringen in de Maasvallei aan te passen, welke alternatieven zijn daarvoor en wat zijn daarvan de consequenties? Ook is gevraagd: “Moeten we meer risico accepteren op plekken waar geen verdrinkingsgevaar heerst?”. In het advies is gekeken naar de hoogte van de norm en de status van de kering (primaire/regionaal/geen status).

Ook bespreekt Kok (2019) de financiële effecten van de keuze voor een status als primaire of regionale kering (wie betaalt onderhoud en versterking?).

Kok (2019) werkt drie opties uit:

1. Minder strenge norm voor een deel van de dijktrajecten met behoud van status als primaire kering: Deze optie is bekeken voor trajecten met een geringe schade (bv < 30 M€). Hier is als norm een overstromingskans van 1/30 per jaar voorgesteld. Er is er vanuit gegaan dat door betere evacuatie ook aan de LIR-eis kan worden voldaan bij deze overstromingskans. Echter ook bij de 1/30 per jaar kans is op veel plaatsen nog dijkversterking nodig omdat er ofwel een hoogteopgave of wel een stabiliteit-/ pipingopgave overblijft (Kok, 2019).
2. Verandering van status voor een deel van de dijktrajecten naar regionale kering. Er zijn veel trajecten met een kleine schade (zie pagina 11 en 12 in Kok (2019)).
3. Geen status toekennen aan een deel van de dijktrajecten (15 trajecten waar de schade < 5 M€).

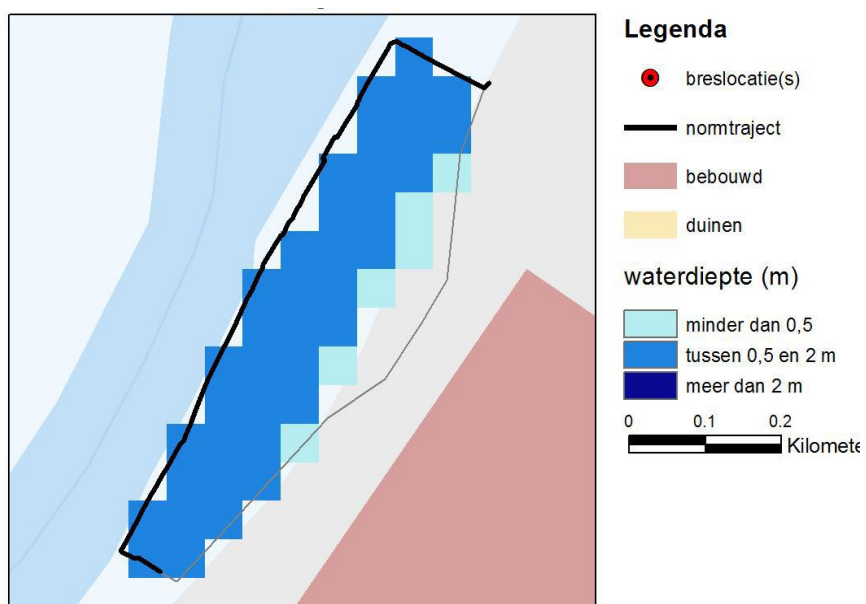
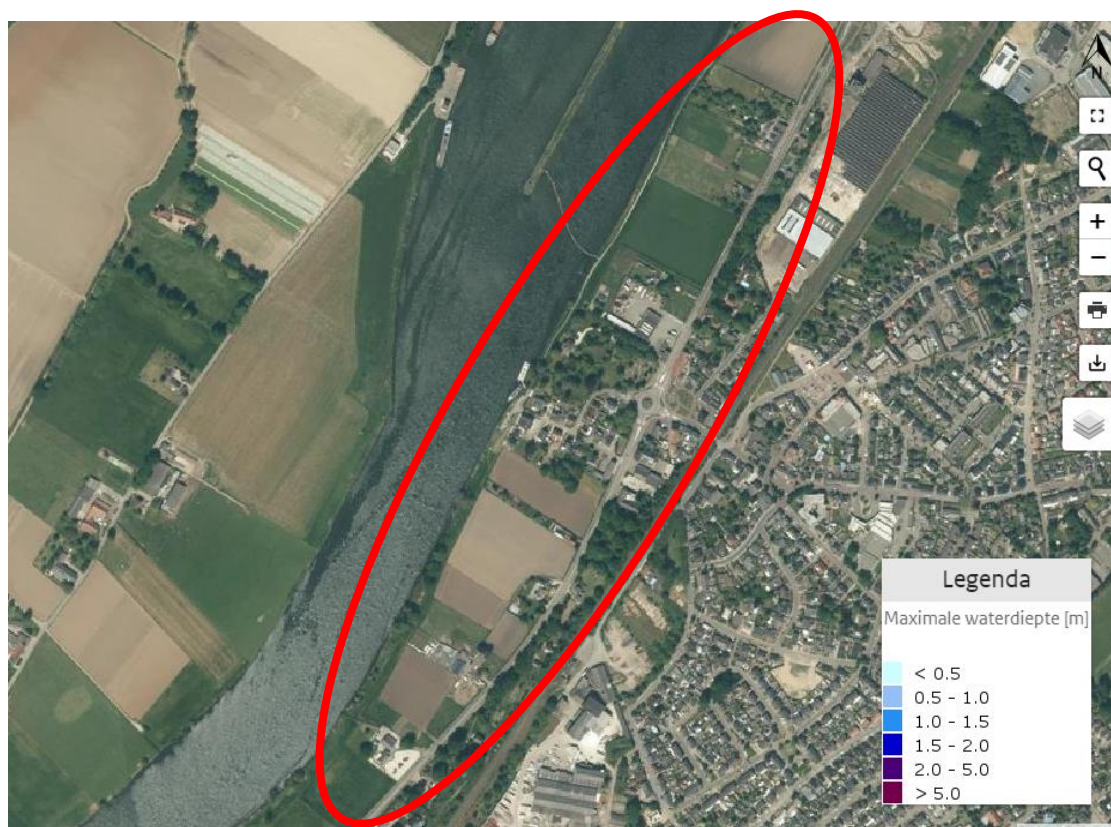
Kok heeft op basis van zijn resultaten het volgende advies afgegeven:

Ga voor de 45 Limburgse dijktrajecten opnieuw na welke normering het best passend is. Heroverweeg de hoogte van de norm en de status van de norm (primaire kering, regionale kering of geen status). Gebruik hierbij de volgende redenatie:

1. Laat de norm ongemoeid voor waterkeringen waar bij falen een grote schade ontstaat (meer dan 50 M€).
2. Overweeg voor de keringen met een schade tussen de 15 en 50M€ of de norm omlaag kan of aanpassing van de status naar regionale kering.
3. Voor de 19 dijktrajecten met een schade van minder dan 15 M€: verander de status en/of de normhoogte.

Het ENW vond het advies van Kok om een lagere norm te kiezen voor 22 trajecten redelijk. Dit impliceert een hogere overstromingsfrequentie, maar betekent ook dat minder zware waterkeringen nodig zijn, die goedkoper zullen worden en minder impact op het landschap zullen hebben. Het ENW geeft ook aan dat een minder strenge norm ook effect heeft op de natuurlijke topvervlakkingscapaciteit van het Maasdal en dat de effecten op het geheel Maassysteem geanalyseerd zouden moeten worden.

Een keuze die door Kok ter discussie is gesteld, is de maximale kanseis van 1/100 per jaar. Er is bestuurlijk afgesproken dat de signaleringswaarde van primaire dijktrajecten niet groter mag zijn dan 1/300 per jaar en daarmee de ondergrens 1/100 per jaar. Wanneer een minder strenge kanseis wordt berekend, is de norm toch gelijk gesteld aan 1/100 per jaar (ondergrens). Voor een drietal trajecten wordt de norm door die maximale kans bepaald en zou op grond van de MKBA en de analyse van het LIR een minder strenge norm passend zijn. Dit betreft dijktrajecten 71-1 (Belfeld), 58-1 (Groeningen) en 82-1 (Aasterberg) (geselecteerd op basis van de factsheets (Min I&M, 2016b)). Het gebied horend bij 71-1 (Beldfeld) is in figuur 5.3 weergegeven ter illustratie. Bij doorbraak van traject 71-1 worden naar verwachting 59 mensen getroffen en is de economische schade volgens HIS-SSM bij prijspeil 2011 zo'n 3 miljoen euro. De totale gevolgschade (inclusief gemonetariseerde getroffen en slachtoffers) voor 2050 bedraagt 7 miljoen euro. Het dijktraject is 1 km lang en versterking kost 3 Miljoen euro (voor een factor 10 sterkere dijk). De norm zou uitkomen op een waarde van 1:30 per jaar met een signaleringswaarde van 1:100 per jaar. Vanwege de voorgeschreven laagste kans is de norm 1:100 per jaar.



Figuur 5.3. Voorbeeld van een kering waarvoor de maximale kansseis van 1/100 per jaar bepalend is voor de norm. Zonder dit maximum zou de norm minder streng uitvallen. Dit is 71-1 (Belfeld)

5.1.3 Eerste verkenning

Er zijn eerste verkenningen gedaan vooral gericht op de waterdieptekaarten horend bij een overstroming. Daarnaast is er nog gekeken naar het effect van de veranderingen in schades door een nieuwe SSM en in het effect van de andere discontovoet.

Aangezien de invloed van de nieuwe dieptekaarten significant bleek te zijn, maar er nog vragen over bleven met betrekking tot met name het effect van het ontstaan van een bres en het modelleren van een bres in plaats van een vereenvoudigde analyse, zijn vervolgens nog aanvullende simulaties uitgevoerd voor enkele trajecten. Op basis van de uitkomsten van die simulaties is besloten om voor alle normtrajecten simulaties met een bres uit te laten voeren. Dit werk is in uitvoering. Met die simulaties zullen vervolgens opnieuw de economisch optimale kansen en LIR-eisen berekend worden.

Voor de volledigheid is er nog wel gekeken naar effecten op de MKBA en LIR eisen van overgang van het verouderde schade- en slachtoffermodel HIS-SSM naar SSM2017, aannames in evacuatiefractie en mortaliteit, de wijzigingen in de discontovoet en de raming van kosten.

5.2 Waterdieptekaarten

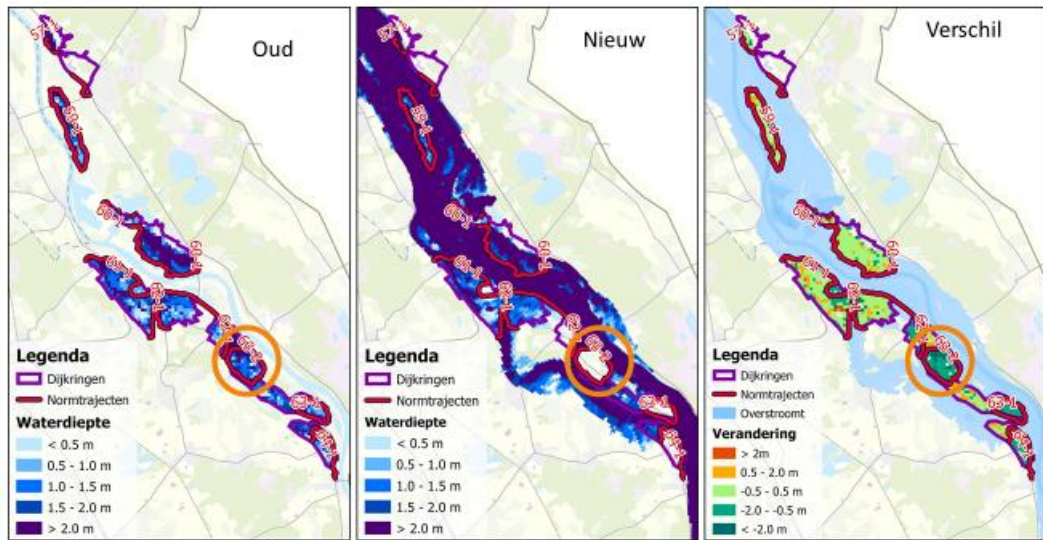
Voor het bepalen van de normen van de dijktrajecten is informatie over de gevolgen van een doorbraak in die dijktrajecten nodig. Deze worden voor andere dijktrajecten bepaald door een overstromingssimulatie van een doorbraak te maken. Alleen voor heel kleine dijkkringetjes (zogenaamde bakjes) is een bakjesaanpak gebruikt (De Bruijn & Van der Doef, 2011). In Limburg is gewerkt met waterdieptegrids afgeleid uit WAQUA-simulaties van Maasafvoeren in het Maasdal. Er is hierbij een grove resolutie gebruikt van $100 * 100 \text{ m}^2$.

Er zijn in het LIWO recent nieuwe waterdieptegrids met hogere resolutie beschikbaar gekomen van het Maasdal bij verschillende afvoeren en overschrijdingskansen. Deze zijn gemaakt rekening houdend met de kades. Er is hierbij standzekerheid verondersteld. Deze waterdieptegrids zijn voor de analyse in dit hoofdstuk bekeken. In de dieptegrids lopen ook bij extreme afvoeren veel kades niet of nauwelijks over, waardoor de waterdieptes in de beschermde gebieden (hier verder “dijkringen” genoemd) heel klein of nul zijn. Deze zijn dan ook niet representatief voor de waterdiepte die hoort bij een bres in de kering. De waterdieptegrids kunnen dan ook niet direct zonder bewerking gebruikt worden om de verwachte gevolgen van een doorbraak (schades/ slachtoffers/ getroffen) of het vermeden risico door dijkversterking te bepalen.

Om te komen tot bruikbare waterdieptekaarten voor de beschermde gebieden is eerste een vereenvoudigde aanpak gevolgd:

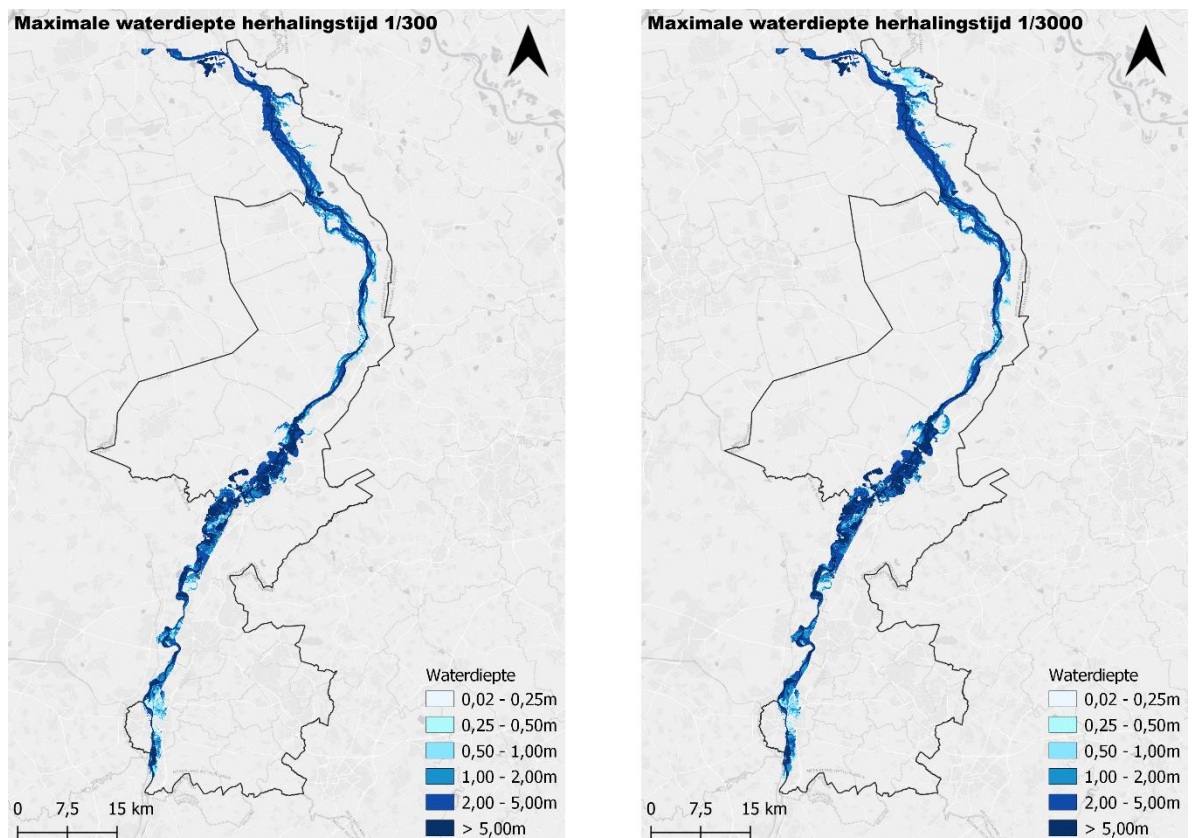
- Eerst zijn de resulterende waterdieptes van het WAQUA-Maasmodel voor een afvoer met een herhalingstijd van 300 en 3000 jaar vertaald naar rivierwaterstanden.
- Vervolgens zijn de waterstanden in het rivierbed geëxtrapoleerd naar het beschermde gebied achter de keringen. Daar waar de waterstand in de door de kades beschermde gebieden hierbij lager werd dan de hoogte van de laagste kade is de waterstand gelijk gesteld aan de hoogte van de laagste kade.
- Ten derde zijn uit deze waterstanden in de beschermde gebieden waterdieptes afgeleid door de bodemhoogte af te trekken van de waterstanden. Hiermee werden waterdieptekaarten gemaakt die meer passen bij een dijkdoorbraak dan bij alleen overloop en die bovendien een hoge resolutie hebben (5m).

De details in deze aanpak zijn beschreven in bijlage B.

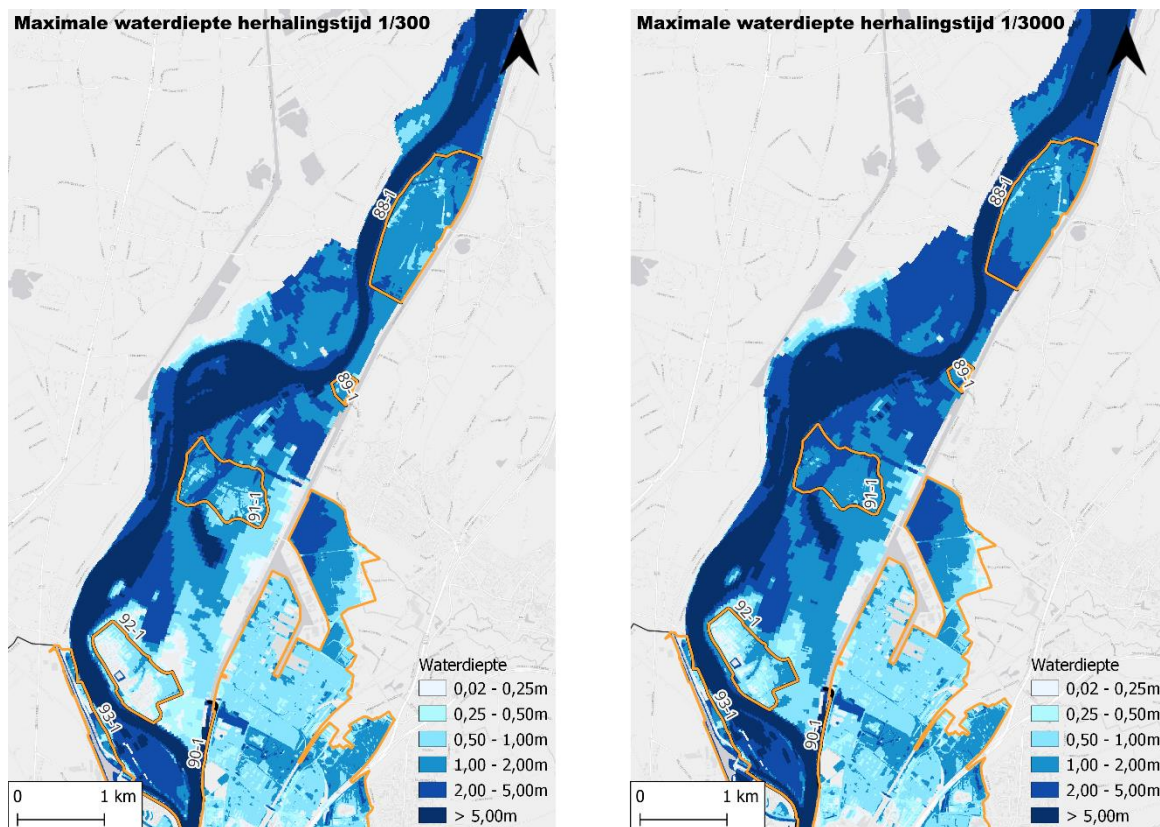


Figuur 5.4. Voorbeeld voor Wansum (61-1 en 62-1): oude overstromingssimulaties zoals gebruikt in DPV en de nieuwe die voor LIWO zijn aangeleverd met daarin duidelijk dijkringen die droog blijven

De resulterende waterdieptekaarten zijn weergegeven in figuur 5.5 voor het gehele gebied. De waterdieptes zijn in het algemeen beperkt, maar er komen locaties voor met waterdieptes groter dan 2m. Ter illustratie geeft figuur 5.6 een ingezoomd beeld van een deel van het gebied.



Figuur 5.5 Maximale waterdieptekaart Limburg. Links de maximale waterdiepte voor een afvoer met herhalingsstijd 1/300 jaar; rechts 1/3000 jaar. Kaartresolutie is 5x5m.



Figuur 5.6 Maximale waterdiepte kaart Limburg ingezoomd. Links de maximale waterdiepte voor een afvoer met herhalingsijd 1/300 jaar; rechts 1/3000 jaar. Kaartresolutie is 5x5m.

Naar aanleiding van deze resultaten en vragen met betrekking tot deze aanpak in relatie tot de aanpak met een bres, zijn in 2024 analyses gedaan met dynamische modellen en bressen voor enkele voorbeeldgebieden in de Limburgse Maas en zijn de resultaten van de vereenvoudigde analyse en de bresanalyse vergeleken (Sikking, 2024). Bij een analyse met bressen speelt de locatie van de bres een belangrijke rol: bij een benedenstroomse bres in langere dijktringen, zal alleen het benedenstroomse deel onderstromen. De aanpak en resultaten zijn door Sikking (2024) samengevat.

Wanneer de gevolgen voor een dijktraject worden berekend als het gewogen gemiddelde van de gevolgen van een bovenstroomse en een benedenstroomse bres, dan zullen deze lager zijn dan de gevolgen berekend op basis van de waterdiepte kaart uit de vereenvoudigde analyse en zal dus ook een grotere economisch optimale kans berekend worden. Om meer grip te krijgen op de gevolgen is besloten om voor alle dijktrajecten overstromingssimulaties met bressen door te rekenen. De resultaten worden nog in 2024 verwacht.

5.3 Effect van de overgang van HIS-SSM naar SSM2017

Wagenaar (2015) heeft gekeken naar de consequenties van de overgang van HIS-SSM naar SSM2017 voor alle dijktrajecten, ook de dijktrajecten langs de Limburgse Maas. De veranderingen zijn toegelicht in paragraaf 3.3.2 voor heel Nederland. Voor de Limburgse Maas is deze overgang extra belangrijk omdat de meeste door de dijktrajecten beschermde gebieden klein zijn en relatief gevoelig voor veranderingen zoals nieuwbouw. Wagenaar (2014) vond een gemiddelde stijging van 60% bij bepaling van de schade met SSM2017 ten opzichte van de berekening met HIS-SSM. Hij vond twee trajecten waar de schade meer dan een factor 3 toeneemt en een groot aantal trajecten waar de schade meer dan een factor 1,5 toeneemt (tabel 5.1).

De stijging werd met name verklaard door nieuwbouw en economische groei. Voor Eijsden resulteerde de overgang in een afname van de schade met meer dan 50%.

Andere effecten van de overgang naar SSM2017

De overgang naar SSM2017 betekent ook dat op een meer nauwkeurige resolutie kan worden gerekend. Zo kan nu op 5m resolutie de schade worden bepaald, waardoor deze veel preciezer wordt. In Limburg is van oudsher rekening gehouden met de mogelijkheid van overstromingen en zijn woningen en andere kwetsbare gebouwen op de iets hogere delen gebouwd. Wanneer met waterdieptes op 100m schaal wordt gerekend kunnen hierdoor de gevolgen worden overschat. Ook is in SSM2017 niet gewerkt met locatie van objecten of inwoners per postcodegebied, maar zijn de locaties van objecten uit de BAG gehaald, waardoor de locatie nauwkeuriger wordt beschouwd. Huizinga en Kok (2013) hebben aangetoond dat met HIS-SSM de toedeling van objecten aan de centroiden van postcodegebieden in Limburg grote onnauwkeurigheden geeft, net als in het Rotterdamse havengebied vooral voor de schade aan woningen (Huizinga, 2012). De postcodegebieden zijn groot en hebben een groot intern hoogteverschil. Ook zijn ze niet regelmatig gevormd waardoor de centroiden soms zelfs buiten het postcodegebied kunnen liggen.

Tabel 5.1 Toename van de schade door geactualiseerde schadeberekening voor trajecten met een toename tussen een factor 1,5 en 3 langs de Limburgse Maas

Traject	Naam	Toenamefactor	Bepalend criterium
76-2	Roermond	4,1	MKBA/LIR
79-1	Thorn-Wessum	3,2	MKBA/LIR
68-1	Venlo Zuid	2,83	MKBA
74-1	Neer	2,76	MKBA/LIR
76-1	Roermond – Zuid	2,63	MKBA/LIR
57-1	Nieuw Bergen	2,38	MKBA/LIR
64-1	Broekhuizenforst	2,28	MKBA/LIR
90-1	Maastricht	2,24	MKBA
71-1	Belfeld	2,22	MKBA/LIR
58-1	Groeningen	1,96	MKBA/LIR
73-1	Beesel	1,87	Keuze voor maximale kans van 1/100 per jaar
93-1	Bossherveld	1,82	MKBA
77-1	Roermond	1,81	MKBA/LIR
82-1	Aasterberg	1,78	Keuze voor maximale kans van 1/100 per jaar
61-1 & 62-1	Wanssum	1,71	MKBA/LIR
66-1	Lottum	1,56	Keuze voor maximale kans van 1/00 per jaar
65-1	Arcen	1,50	MKBA/LIR

* De trajecten 66-1, 73-1 en 82-1 zijn hier opgenomen, ook al is de norm niet bepaald door de MKBA eis maar door de keuze om de normen van primaire keringen niet soepeler te stellen dan 1/100 per jaar (ondergrens). Een toename van de schade betekent in dit geval dat de reeds gekozen norm meer passend wordt dan eerst voorzien, niet dat de MKBA leidt tot een strengere eis (een kleinere economisch optimale kans).

Andere effecten van de overgang naar SSM2017

De overgang naar SSM2017 betekent ook dat op een meer nauwkeurige resolutie kan worden gerekend. Zo kan nu op 5m resolutie de schade worden bepaald, waardoor deze veel preciezer wordt. In Limburg is van oudsher rekening gehouden met de mogelijkheid van overstromingen en zijn woningen en andere kwetsbare gebouwen op de iets hogere delen gebouwd. Wanneer met waterdieptes op 100m schaal wordt gerekend kunnen hierdoor de gevolgen worden overschat. Ook is in SSM2017 niet gewerkt met locatie van objecten of inwoners per postcodegebied, maar zijn de locaties van objecten uit de BAG gehaald, waardoor de locatie nauwkeuriger wordt beschouwd. Huizinga en Kok (2013) hebben aangetoond dat met HIS-SSM de toedeling van objecten aan de centroiden van postcodegebieden in Limburg grote onnauwkeurigheden geeft, net als in het Rotterdamse havengebied vooral voor de schade aan woningen (Huizinga, 2012). De postcodegebieden zijn groot en hebben een groot intern hoogteverschil. Ook zijn ze niet regelmatig gevormd waardoor de centroiden soms zelfs buiten het postcodegebied kunnen liggen.

Overschatting van de schade

Eerder werd op basis van de geregistreerde en berekende schade bij de overstromingen in 1993 en 1995 verwacht dat HIS-SSM de schade voor Limburg juist overschat (Wagenaar, 2014; Huizinga en Kok, 2014). Deze overschatting werd verklaard door dat de objecten in Limburg minder kwetsbaar zouden zijn dan in de rest van Nederland doordat daar in de meer frequent overstroombare gebieden aangepast gebouwd en ingericht werd en doordat overstromingen een veel kortere duur hebben en dus minder schade door bedrijfsuitval dan gebeurtenissen elders in Nederland. Bij gebruik van SSM2017 nemen de schadebedragen toe.

De precieze nauwkeurigheid van SSM2017 voor Limburg is niet bekend, net als deze niet precies bekend is voor andere delen in Nederland. Aangezien met SSM2017 op 5m schaal gerekend kan worden, de positionering van objecten veel beter is dan in HIS-SSM en ook de data geactualiseerd is, zal deze veel beter zijn dan die van HIS-SSM. Voor objecten die aangepast zijn aan overstromingen wordt de schade overschat. Ook de indirecte schade, en schade door bedrijfsuitval wordt waarschijnlijk overschat door de korte duur van de overstromingen ten opzichte van de duur van overstromingen elders. Voor fysieke schade aan woningen, andere objecten en bedrijven met karakteristieken die vergelijkbaar zijn met bedrijven in de rest van Nederland is de schadeschatting ook van vergelijkbare kwaliteit.

Om de consistentie in methode te behouden is de kansseis op dezelfde wijze bepaald en wordt door de toedeling enigszins rekening gehouden met de mogelijke overschatting van de schade: De kansseis wordt bepaald op basis van de ondergrens van de normklasse waarin de berekende kansseis valt. Hiermee wordt bedoeld dat alle berekende kansseisen met een waarde tussen bijvoorbeeld 1/301 en 1/999 per jaar gerelateerd worden aan de kansseis van 1/300 per jaar en dat alle berekende kansseisen liggend tussen 1/1001 en 1/2999 een kansseis toegekend krijgen van 1/1000 per jaar. Ook is de klasse gegeven waarbij de standaardafrondering is toegepast (zoals gedaan in de rest van Nederland).

5.4 Gecombineerd effect van de indicatieve waterdieptekaarten en gebruik van SSM2017 op het LIR en de MKBA-uitkomst

Om het effect van de nieuwe indicatieve waterdieptekaarten en SSM2017 op de kansseis vanuit het LIR en de MKBA te berekenen zijn eerst de bijbehorende gevolgen bepaald met het Standaard Schade- en Slachtoffermodule (SSM2017) (Slager en Wagenaar, 2017). Hiermee zijn per dijkkring de totale schade, slachtoffers, getroffen en mortaliteit bepaald voor beide afvoerscenario's. Deze gegevens zijn de invoer voor het bepalen van de economisch optimale kans en het LIR.

De verandering in de berekende economisch optimale kans is het gevolg van zowel het gebruik van de nieuwe waterdieptekaarten die beter passen bij een doorbraak, als het gebruik van het nieuwe SSM2017 i.p.v. het oude HIS-SSM. Het was niet mogelijk om beide effecten op het LIR en de MKBA eis afzonderlijk te bepalen binnen de scope van deze studie. In paragraaf 5.3 is wel het effect van de overgang naar SSM2017 gegeven: dit leidde gemiddeld tot een schadetoename van 60% gegeven de toen gebruikte grovere waterdieptekaarten en de toen bekende dijkkringgrenzen voor het beschermde gebied. De factoren geven een indicatie van het effect maar zouden nu, met de nieuwe waterdieptekaarten wel anders uit kunnen vallen.

Op basis van de nieuwe indicatieve waterdieptekaarten worden voor de meeste dijktrajecten nieuwe economisch optimale kansen berekend die vergelijkbaar of soepeler zijn dan voorheen. Voor enkele trajecten wordt een kanseis berekend die strenger is dan eerder. Het grootste verschil is gevonden voor traject 69-1. Voor dat traject was de norm – op grond van bestuurlijke overwegingen – een klasse soepeler gesteld dan de in DPV berekende MKBA-eis. De twee trajecten die in paragraaf 3.3.2 opvielen door een significant grotere schade bij gebruik van SSM2017 ten opzichte van het oude HIS-SSM met de originele waterdieptekaarten en dijkkringgrenzen resulteren ook hier in een strengere kanseis. Voor 76-2 leidt dit tot een normklasse strengere MKBA-eis, voor 79-1 verandert de kanseis wel, maar leidt die niet tot een andere normklasse. De LIR-eisen veranderen ook enigszins. Dit komt door de nieuwe waterdieptekaarten en doordat de mortaliteitsfuncties nu toegepast worden op een waterdieptekaart met een resolutie van 5m in plaats van 100m. De MKBA eis is echter op basis van de indicatieve waterdieptekaarten overal bepalend (zie bijlage B). De nieuwe waterdieptekaarten en SSM2017 samen hebben dus een belangrijke invloed op de kanseisen gebaseerd op de MKBA.

5.5 Evacuatiefractie en mortaliteit

Evacuatiefractie

Voor de evacuatie is bij het bepalen van de normen uitgegaan van 82% voor gebieden grenzend aan hoge gronden en 50% voor gebieden die bij hoogwater omgeven zijn door water. Als gemiddeld meer mensen geëvacueerd kunnen worden, dan volstaat een grotere kans, dus een minder strenge norm om aan de LIR-eis van 10^{-5} te voldoen. Bij het hoogwater van 2021 is vrijwel iedereen die een oproep tot evacuatie heeft ontvangen geëvacueerd. In hoeverre deze gebeurtenis representatief is voor alle mogelijke gebeurtenissen is niet geheel duidelijk. In ieder geval laat het zien dat hogere evacuatiefracties mogelijk zijn. Als 90% een realistisch evacuatiepercentage is, dan wordt de LIR-eis een factor 1.5 minder streng dan wanneer 82% wordt gebruikt. De kans om achterblijver te worden neemt dan immers af van 0.15 naar 0.10. Een kanseis van bijvoorbeeld 1/100 wordt dan 1/67 per jaar. Wanneer het evacuatiepercentage van 50% naar 90% zou worden aangepast, dan wordt de LIR-eis maar liefst een factor 5 minder streng. De kans om achter te blijven neemt dan immers af van 0.5 naar 0.1. Aangezien de LIR-eis voor slechts 2 dijktrajecten leidt tot een strengere norm dan op basis van de MKBA wordt gevonden, is deze potentiële aanpassing van de evacuatiefractie niet erg relevant voor de discussie over de normen.

Mortaliteit

Andere mogelijke discussiepunten zijn of de mortaliteitsfuncties van Jonkman (2007) representatief zijn voor een overstroming van de Maas in Limburg. Deze functies zijn immers afgeleid van de gegevens van de stormvloed van 1953 met instortende huizen, storm en golven in een situatie waarin de communicatie- en transportmiddelen heel anders waren dan nu het geval is in Limburg. Deze vraag kan echter ook bij rivieroverstromingen van andere gebieden gesteld worden.

Er wordt in de kennisalliantie “Slachtoffers en evacuatie” onderzoek gedaan aan mortaliteitsfuncties en gekeken of deze geactualiseerd kunnen worden.

5.6 Discontovoet en Economische groei

De economisch optimale kans is berekend met een economische groei van gemiddeld 1,9% tot aan 2050 en een discontovoet van 5,5 %. De nieuwe discontovoet voor kosten en baten samen leiden tot een factor 2,4 strengere normen (Kind, 2022). Het advies om te rekenen met een economische groei van gemiddeld 1,5% leidt tot ongeveer een factor 0,9 minder strenge economische kansen. Samen leiden deze veranderingen tot 2 maal strengere economisch optimale kansen (zie paragraaf 3.2).

5.7 Kosten

De kostenkentalen gebruikt in Limburg zijn bepaald in het WV21 project (Grave & Baarse, 2011). In WV21 is een drietal dijktringen beschouwd met een totale dijk lengte van ca. 27 km. Op basis van de kostenfuncties van deze drie dijktringen is binnen de Proeve Maas een kostenfunctie voor de overige Limburgse dijktringen afgeleid. Deze functie beschrijft de kosten voor de dijkversterking per km. Deze kostenfunctie levert bij een versterking van de dijk met één decimeringshoogte (van 0,71 meter) gemiddelde kosten van ca. 3,5 miljoen per km. Op basis van de overstromingskansen van de technisch uitwerking DPV 2.0 zijn de dijkverhogingen per traject uitgerekend, uitgaande van een overstromingskans in de uitgangssituatie van 1/125 per jaar. Met deze verhogingen en de kostenfunctie per traject zijn de totale kosten voor de dijktringen van de Limburgse Maas bepaald.

De totale kosten bedragen ca. 540 miljoen Euro voor een totale lengte van 168 km. De kosten van de trajecten variëren tussen de 1 en 5 miljoen Euro per kilometer, afhankelijk van de mate van aanscherping van de norm (zie tabel 5.2). De gemiddelde kosten over alle trajecten zijn 3,2 miljoen Euro per kilometer (gewogen met de lengte).

Tabel 5.2 Kosten voor dijkversterking in Limburg

Normhoogte uit Technische uitwerking 2.0 (terugkeertijd)	Gemiddelde kosten per km (in miljoen Euro)
100	2,2
300	3,1
1000	4,2
3000	5,3

Bij deze kostenschatting behoren enkele kanttekeningen. De kostenfuncties zijn niet per dijkkring of dijkkringtraject bepaald, zoals dat binnen WV21 voor andere trajecten wel is gedaan, maar gewerkt is met een kostenschatting per km. De dijk lengten kunnen door een nieuwe normering veranderen, zowel kleiner als groter worden, doordat ze aan hoge gronden grenzen. Dijktringen kunnen bijvoorbeeld aan elkaar komen te liggen of dijkkringtrajecten moeten verlengd worden om aan te sluiten op een “nieuwe” hoge-grondlijn. In de Proeve Maas is hiervoor een 10% extra dijk lengte aangenomen.

Het is aan te bevelen om de kostengetallen per kilometer en de nieuwe lengtes van de dijktrajecten te gebruiken om tot nieuwe kostengetallen te bepalen. Vervolgens kan met experts voor 1 of 2 cases bekeken worden of de getallen per kilometer realistisch zijn.

5.8 Discussie en conclusies

In de analyse voor normtrajecten langs de Limburgse Maas (ook die in Noord-Brabant) zijn de volgende veranderingen meegenomen:

- Nieuwe inzichten in de verwachte of representatieve waterdiepte passend bij een situatie met een doorbraak (bepaald met een vereenvoudigde aanpak)
- De overgang naar een nieuw en nauwkeuriger Schade en Slachtoffermodel SSM2017.
- Het gezamenlijk effect beschouwd van de nieuwe discontovoet en de nieuwe economische groei, die gezamenlijk tot 2 maal strengere normen leiden, net als in de rest van Nederland (zie paragraaf 3.2).

Er is niet gekeken naar de kostenkentallen en de ligging van de dijktrajecten in deze analyse, ook al zijn er aanwijzingen dat de kostenkentallen geactualiseerd zouden moeten worden. De nieuwe trajectliggingen leiden tot nieuwe trajectlengtes en mogelijk tot wijzigingen in inzichten van het door de trajecten beschermde gebied. Ook kan door de benodigde aansluiting op hoge gronden de trajectlengte veranderen, of kunnen de kosten per kilometer veranderen. Dit kan leiden tot hogere of lagere kosten voor het bereiken van factor 10 strengere normen.

Conclusie

Op basis van de uitgevoerde analyses is geconcludeerd dat de waterdieptekaarten belangrijk zijn en dat betere kaarten en een methode die meer overeenkomt met de rest van Nederland de voorkeur verdient. Er is dan ook besloten om voor alle dijktrajecten opnieuw de LIR- en MKBA eisen te berekenen op basis van nieuwe overstromingssimulaties die momenteel uitgevoerd worden. Het is daarom niet mogelijk om nu al conclusies te trekken gerelateerd aan de normen voor de dijktrajecten in de Maasvallei. De verwachting is dat de nieuwe doorbraaksimulaties in het algemeen leiden tot lagere schades en dus soepeler economisch optimale kansen dan voorheen berekende kansen.

Aanbevelingen

Het is aan te raden om nogmaals de ligging van de trajecten (op aansluiting met hoge gronden) en de kostengetallen te heroverwegen op basis van de nieuwe waterdieptekaarten en de kostenkentallen daarbij te evalueren. Op basis van nieuwe overstromingssimulaties en mogelijk nieuwe inzichten in kostenkentallen kunnen de normen heroverwogen worden.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Dit rapport beschrijft een analyse van de veranderingen in de aannames en gegevens die gebruikt zijn voor het bepalen van de criteria achter de waterveiligheidsnormen: de economisch optimale kans, de eis vanuit basisveiligheid en vanuit groepsrisico. Ook wordt een indicatie gegeven van het effect van de veranderingen op de kanseisen die zijn afgeleid voor deze criteria. De analyse is eerst gedaan voor heel Nederland en vervolgens in hoofdstuk 5 nog apart voor Limburg. Deze analyse voor Limburg is apart gedaan omdat de overstromingskarakteristieken, de normen, en ook de aannames en uitgangspunten gebruikt voor het bepalen van de normen langs de Limburgse Maas soms verschillen van die van de rest van Nederland.

De belangrijkste veranderingen zijn:

- *Aanpassing van de discontovoet en economische groei verwachting:* beiden hebben een tegengesteld effect. Gezamenlijk leiden ze tot een factor 2 strengere economische overstromingskansen.
- *Het meenemen van evacuatie bij bepaling van basisveiligheidseis (het LIR) van de Waddeneilanden:* hierdoor kunnen de kanseisen voor het voldoen aan het basisveiligheidscriterium soepeler worden gesteld. Voor veel dijktrajecten is deze eis bepalend voor de norm.
- *Het combineren van de bijdrages van verschillende dijktrajecten aan het LIR in de Betuwe:* Veel gebieden in de Betuwe worden bedreigd door doorbraken van meerdere dijktrajecten. Om te garanderen dat de eisen aan de keringen zo zijn dat de som van de bijdrages van de dijktrajecten aan het LIR niet hoger is dan het basisveiligheidscriterium, is de voor een dijktraject afgeleide kans vermenigvuldigd met een combinatiefactor. Voor dijktraject 43-5 en 43-6 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden 5 en 6) is deze combinatiefactor overschat. Met een klasse soepeler eis wordt hier ook aan het basisveiligheidscriterium voldaan. Voor deze trajecten is basisveiligheid het bepalend criterium voor de norm.

Het gecombineerde effect van de veranderingen weergegeven per dijktraject

In tabel 6.1 (voor de meeste dijktrajecten) en 5.1 (voor de dijktrajecten langs de Limburgse Maas) is een overzicht gegeven van de veranderingen en de effecten ervan op de kanseisen voor alle individuele dijktrajecten. Voor de meeste dijktrajecten leiden de veranderingen en nieuwe inzichten niet tot significante wijzigingen in de kanseisen. Dat wil zeggen: de kanseisen veranderen niet met een factor 3 of meer. De kanseisen van de volgende dijktrajecten veranderen significant:

- De Waddeneilanden (zie uitleg hierboven)
- Voor 43-5 en 43-6 (respectievelijk Betuwe Tieler en Culumborgwaarden 5 en 6) kan de LIR-eis een klasse minder streng worden gesteld wanneer beter rekening gehouden wordt met de gecombineerde bijdrage aan het LIR vanuit verschillende dijktrajecten (zie uitleg hierboven). De LIR-eis is hier bepalend voor de norm.

- 14-1 en 15-3 (Hollandse IJssel West en Oost) Door te rekenen met de nieuwe betere betrouwbaarheid sluiten van de Hollandse IJsselkering zullen de verwachte gevolgen gegeven een doorbraak afnemen. Deze gevolgen zullen dan namelijk mede bepaald worden door situaties met een gesloten Hollandse IJsselkering en deze situaties leiden tot minder schade en een lagere mortaliteit dan waar nu mee gerekend is. Dit leidt tot minder strenge kanseisen. Hiervoor is nog geen kwantitatieve schattingen beschikbaar.

Voor de dijktrajecten 10-1 (Mastenbroek), 13-8 (Noord-Holland – Markermeer 2) wordt bovengemiddelde economische groei en/of nieuwbouw verwacht. Het is dan ook te bevelen om zoveel mogelijk rekening te houden met overstromingsgevaar bij de locatiekeuze, inrichting van gebieden en het ontwerp van objecten en het “water-en-bodem sturend” principe toe te passen. Dit zou de toename van risico's in de toekomst kunnen beperken. Dit komt door een strengere MKBA-kanseis, die voortkomt uit een lagere discontovoet, de overgang naar een nieuw schademodel en nieuwbouw.

Voor die trajecten waar een strengere kanseis wordt berekend, kan niet zonder meer geconcludeerd worden dat de norm hier strenger moet worden. De normen zijn immers uitkomsten van een politiek-bestuurlijk proces waarin naast de berekende kanseisen ook aanvullende overwegingen en maatschappelijke belangen worden meegewogen. Bovendien zijn niet alle nieuwe inzichten direct te vertalen geweest in kwantitatieve effecten. Zo is het gevoel dat versterkingen duurder zijn dan werd aangenomen niet gekwantificeerd en niet meegenomen. Hogere kosten leiden juist tot soepeler kanseisen vanuit de MBKA. Voor die trajecten waar een strengere norm wordt overwogen zouden ook de kosten nader beschouwd moeten worden. Verder is het goed om aan te geven dat de economische optima van dijkversterkingen vlak zijn, wat betekent dat in veel gevallen een beperkte afwijking van het economisch optimum ook leidt tot een vrijwel optimale situatie.

Dijktrajecten langs de Limburgse Maas

Uit de verkennende analyse met nieuwe waterdieptekaarten en eerste bresssimulaties bleek het effect op de MKBA eis relevant te zijn. Ook zijn effecten van nieuwe waardes voor de discontovoet en economische groeiverwachting, de nieuwe Schade en Slachtoffermodule SSM2017 bekeken. Op dit moment worden verdere analyses uitgevoerd met behulp van simulaties van bressen. Het is aan te raden om op basis van de uitkomsten daarvan de normen te heroverwegen en ook de kostenkentallen te analyseren.

Overige bekeken veranderingen in aannames gerelateerd aan basisveiligheid

Voor de overige bekeken onderwerpen kunnen de volgende conclusies getrokken worden met betrekking tot het effect op de kanseis vanuit het criterium basisveiligheid:

- *Het gebruik van een geactualiseerde set overstromingssimulaties heeft een beperkt effect op de kanseisen:* Voor enkele buurten beschermd door dijktrajecten van dijkkring 48 (Rijn en IJssel) en 42 (de Ooijpolder) en 25-1 (Goerree Overvlakkee) worden significant grotere LIR waardes gevonden. Wanneer hier rekening gehouden wordt met de lange aankomsttijd van het water in die buurten en de evacuatiefractie volgens de verwachtingswaarde wordt ingeschat (in plaats van door de ondergrens) kan wel voldaan worden aan het basisveiligheidscriterium.
- *Het gebruik van andere waardes voor de evacuatiefractie:* Bij het bepalen van de kanseisen vanuit basisveiligheid is gerekend met een conservatieve ondergrens voor evacuatie. Het effect van het rekenen met de verwachtingswaarde in plaats van de ondergrens is beperkt en leidt op zichzelf niet tot soepeler kanseisen.

- *Aankomsttijd en mortaliteit*: het effect van het meenemen van de aankomsttijd van het water is groot voor scenario's met een aankomsttijd langer dan 2 dagen. Het effect van deze scenario's op de LIR waarden in buurten, is nog niet bepaald. Het kan leiden tot lagere LIR-eisen in met name grote rivierdijkkringen. Nieuwe inzichten in mortaliteit hebben nog niet geleid tot nieuwe mortaliteitsfuncties. Er is een kennisalliantie die onderzoek doet naar nieuwe mortaliteitsfuncties en mogelijkheden om aankomsttijd mee te nemen in slachtofferisicoschattingen. Vooralsnog geven de nieuwe inzichten uit pilots nog niet voldoende onderbouwing om op basis hiervan kanseisen vanuit het LIR aan te passen.

Overige veranderingen/nieuwe inzichten in aannames en parameters bepalend voor de economisch optimale kans

De belangrijkste veranderingen voor het bepalen van de MKBA-eis zijn de nieuwe discontovoet, en de overgang naar het nieuwe SSM2017. Ook nieuwbouwplannen die leiden tot een significante toename van de schade kunnen aanleiding zijn om een hogere norm te overwegen. Verder is er kwalitatief ingegaan op veranderingen door de komst van nieuwe overstromingssimulaties en nieuwe kennis over kosten van dijkversterking:

- *Discontovoet en economische groei*: De nieuwe discontovoet en economische groei leiden gezamenlijk tot een factor 2 strengere economisch optimale kans voor alle dijktrajecten. De discontovoet wordt regelmatig bijgesteld. Ook in 2025 wordt een bijstelling verwacht en het is dan ook aan te raden deze ontwikkeling te volgen.
- *Overgang naar SSM2017*: Het Standaard Schade en Slachtoffermodel HIS-SSM is vervangen door SSM2017. De effecten hiervan zijn voor de meeste dijktrajecten beperkt.
- *Nieuwbouw*: Het effect van recente en geplande nieuwbouw op de economisch optimale kans in de meeste gebieden beperkt, omdat in de bepaling van de economische optimale kans oorspronkelijk rekening gehouden is met 1,9% economische groei en de nieuwbouwplannen hier meestal binnen passen. Alleen voor 13-8 (Noord-Holland Markermeer 2) en 10-1 (Markermeer 1) is nieuwbouw relevant om te beschouwen.
- *Nieuwe waterdieptekaarten gebaseerd op nieuwe overstromingssimulaties*: Er worden momenteel en in de komende jaren veel overstromingssimulaties geactualiseerd. Het is de verwachting dat zeker voor grote gebieden waarvan de waterdieptekaarten die gebruikt zijn bij het afleiden van de kanseisen gemaakt zijn met de verouderde modellen zoals in Gelderland en Overijssel de effecten van de nieuwe simulaties relevant kunnen zijn. Waarschijnlijk wordt het beeld in de waterdieptekaarten minder ernstig en het overstroomd gebied en de gevolgen dus kleiner. Het is aan te raden de ontwikkelingen van overstromingssimulaties te monitoren.
- *Kosten van dijkversterking*: Er zijn nog geen nieuwe kostenkentallen beschikbaar. Wel leeft het gevoel dat de kosten te laag zijn geschat, maar dit is nog niet aangetoond. Hogere kostenkentallen zouden leiden tot minder strenge MKBA-eisen.

6.2 Aanbevelingen

Op basis van de analyses in deze studie worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Voor de evaluatie van de normen is het heroverwegen van de normen van de trajecten in Limburg, de Waddeneilanden, trajecten 14-1 en 15-3 (Hollandse IJssel West en Oost), en dijktraject 43-5 en 43-6 van de Tieler en Culemborgerwaard.

- Om de basisveiligheid te garanderen is het in dijkringen Rijn en IJssel, de Ooijpolder, en in kleine buurten op Goeree Overflakkee en in Zeeuws Vlaanderen aan te raden om het crisismanagement af te stemmen op de overstromingsgevaarkaart. Ook is nadere analyse van het overstromingsscenario voor de Kreekrakpolder (33-1) aanbevolen.
- Bij het analyseren van de MKBA- en LIR eisen van de dijktrajecten langs de Limburgse Maas, is het aan te raden om ook nogmaals de ligging van de dijktrajecten (op aansluiting met hoge gronden) en de kostengetallen te heroverwegen op basis van de nieuwe waterdiepte kaarten en de kostengetallen daarbij te evalueren. Als de kosten hoger zijn, dan is een soepeler norm passender.

Op de langere termijn zijn de volgende aanbevelingen belangrijk:

1. Monitor de komende jaren lopende ontwikkelingen zoals

- *Bijstellingen van de discontovoet en economische groeiverwachting*: de verwachting is dat in 2025 een bijstelling volgt;
- *Overstromingssimulaties*: Volg de ontwikkelingen op het gebied van overstromingssimulaties die worden opgenomen in de Landelijke Database Overstromingen. Immers: indien het beeld in deze simulaties sterk afwijkt van eerdere overstromingsbeelden, kan dit aanleiding zijn tot een aanpassing van de MKBA en/of de LIR waarde. Dit is vooral relevant voor de riviergebieden in Gelderland en Overijssel.
- *Dijkversterkingen en de kosten van dijkversterkingen* die uitgevoerd worden: analyseer of op basis hiervan KOSWAT kan worden geactualiseerd en of het aanleiding geeft om de kostengetallen te heroverwegen.
- *Verbeteringen in crisismanagement* en of deze aanleiding geven om evacuatiefracties te heroverwegen.

2. Volg lopend onderzoek of voer verkennend onderzoek uit naar:

- *Mortaliteit en slachtofferfuncties*: Volg lopend onderzoek naar het meenemen van aankomsttijd en nieuwe slachtofferfuncties en breng de potentiële effecten op de LIR-eisen voor trajecten in het bovenrivierengebied waarvoor de LIR-eis bepalend is, in beeld
- *Vitale infrastructuur*: In DPV was het niet mogelijk een goede schatting te doen van de effecten van overstromingen op de uitval van vitale infrastructuur en de maatschappelijke schade van uitval van vitale infrastructuur. Er is toen gewerkt met een opslagpercentage (zie paragraaf 2.3.5). Om voor toekomstige analyses dit beter te doorgronden wordt een aanbevolen naar de effecten van de overstroming op het functioneren van vitale infrastructuur en kwetsbare objecten te bepalen, en handelingsperspectieven te onderzoeken. Ook kan zo'n casestudy bijdragen aan een beter inzicht in de indirecte schade van uitval van deze vitale infrastructuur.

6.3 Tabel met per dijktraject gegevens en het effect van nieuwe inzichten

Uitleg bij de kolommen:

Gegevens:

- A) Het dijktraject,
- B) De normkansen (signaleringswaarde en ondergrens),
- C) het bepalend criterium.

LIR:

- **D): Geactualiseerde overstroomingssimulatieset:** er is gekeken of de buurten in de beschermde gebieden achter de dijktrajecten een LIR $< 10^{-5}$ hebben. Er is een opmerking geplaatst wanneer een waarde voor het LIR gevonden wordt die meer dan 3 maal groter is dan de LIR-eis van $1 \cdot 10^{-5}$ per jaar.
- **E): Evacuatiefractie:** Deze kolom geeft het effect van het gebruik van de verwachtingswaarde van de evacuatiefractie in plaats van de ondergrens (een factor 0,5 betekent dat de eis 2 maal soepeler wordt, dus dat een 1/1000 eis een 1/500 per jaar eis wordt). In de Waddeneilanden is mogelijk ook de verwachtingswaarde (50%) nog een conservatieve schatting. De huidige eisen aan de keringen van de Waddeneilanden zijn berekend op basis van de aanname dat er geen evacuatie naar de hogere delen (duinen) op de eilanden plaatsvindt (evacuatie is gesteld op 0%).
- **Niet opgenomen in de tabel, wel kwalitatief beschouwd:**
 - o **Mortaliteit:** Er loopt onderzoek naar de mortaliteitsfuncties, maar dit heeft nog niet geleid tot verbeterde functies.
 - o **Aankomsttijd:** Deze factor is relevant in met name grote rivierdijkkringen. Dit jaar is een analyse gepland van het effect van het meenemen van aankomsttijd op de LIR waarden in de kennisalliantie Slachtoffers en evacuatie. Het meenemen leidt tot lagere LIR waarden in met name (maar niet uitsluitend) de grote rivierdijkkringen. Het is niet zeker of het effect relevant is (meer dan een factor 3).

MKBA:

- **F) Discontovoet en economische groei:** factor 2 (op dit moment, in 2025 wordt weer een bijstelling verwacht waardoor deze factor waarschijnlijk lager wordt)
- **G): De toenamefactor ten gevolge van het gebruiken van het SSM2017** i.p.v. het oude SSM model.
- **H) Kwalitatieve indicatie van het effect van nieuwbouw** (zie De Bruijn, 2022). Hier is alleen een opmerking gemaakt als in het onderzoek bovengemiddelde groei gevonden is.
- **I) Totale effect MKBA**
- **Niet beschouwd in de tabel, wel beschreven in het hoofdstuk:**
 - o **Kosten:** Het is verwacht dat de kosten nu hoger ingeschat zouden worden, maar dat is niet kwantitatief onderbouwd. Als de kosten hoger zouden zijn, zouden de kanseisen iets soepeler worden (De Bruijn, 2022).
 - o **Actualisatie overstroomingssimulaties.** De verwachting is dat de verschillen in gevolgen in het algemeen beperkt zijn (kleiner dan een factor 3). Het is aan te bevelen de oplevering van nieuwe overstroomingssimulaties te monitoren
 - o Potentieel effect van andere slachtofferschattingen en eventueel nieuw inzicht in waarde van een mensenleven hebben naar verwachting slechts een heel beperkt effect en met name op trajecten waarvan de norm bepaalt wordt door het LIR (namelijk in gevaarlijke gebieden), en nieuwe inzichten in opslagfactoren zoals die voor uitval van vitale en kwetsbare infrastructuur, schoonmaakkosten en schade aan LNC waarden zijn er niet: nieuwe analyses duiden erop dat de schattingen van deze factoren plausibel zijn.

Overkoepelend effect per dijktraject:

J: het effect op de kanseis aan de kering zowel vanuit het LIR als vanuit de MKBA.

Uitleg bij de gegeven factoren:

- Een factor 0,5 betekent hier een soepeler norm: een traject met een kans van 1/1000 krijgt een kans van 1/500 per jaar.
- Een factor 2 betekent hier een strengere norm: een traject met een kans van 1/1000 krijgt een kans van 1/2000 per jaar

Tabel 6.1 Overzicht van de gegevens per dijktraject en effecten van nieuwe inzichten. Vanwege de nog lopende studie in Limburg zijn de trajecten in de Maasvallei hier niet in opgenomen.

Norm		LIR			MKBA				J. Totale effect MKBA en LIR
A. Traject	B. Signalering (1/kans) jaar	C. Bepalend criterium	D. Update simulaties	E. Effect evacuatie verwachtings waarde	F: Discontovoet + ec. groei	G. Effect SSM 2017	H. Nieuw bouw	I: Totale Effect MKBA	
1-1	1000	Aanvullend		0,5	2	?		Duin	LIR-eis was 1/100 bij een evacuatiefractie van 0. Een minder strenge faalkans is hier meer passend. Dit heeft geen effect op de dijkversterkingsmaatregelen aangezien de duinen hier al een zeer kleine faalkans hebben.
1-2	1000	LIR		0,50	2	1,42		2,8	Vanuit het LIR is een lagere normkans meer passend dan de huidige 1/1000 per jaar normkans.
2-1	1000	LIR		0,50	2	<<*		klein	Op basis van de analyses en besproken overwegingen volstaat hier een kans van 1/100 per jaar: Evacuatie is eerder niet meegenomen, en het gebruik van het nieuwe schademodel leidt tot een minder strenge eis vanuit de MKBA. De actuele kans is geschat op 1/20.000. Het versoepelen heeft dan ook waarschijnlijk geen effect op de versterkingsopgave.
2-2	1000	LIR		0,50	2	?			Als evacuatie meegenomen wordt met 50%, volstaat een soepeler norm. Een nog hoger evacuatiepercentage is ook realistisch. De kans vanuit het LIR daalt dan nog verder. De MKBA-eis was 1/100 per jaar (ondergrens). De norm wordt bij verlaging dus ook meer passend bij de MKBA-eis.
3-1	3000	Aanvullend		0,50	2	?			Zowel vanuit het LIR als de MKBA is een normkans van 1/100 of 1/300 meer passend dan de huidige 1/3000 per jaar normkans. Norm is bestuurlijke keuze. De huidige faalkans is $<< 1/10^8$ per jaar. Een wijziging in de norm heeft dus geen effect op de versterkingsopgave.
3-2	1000	LIR		0,50	2	?			Vanuit het LIR is een lagere normkans meer passend dan de huidige 1/1000 per jaar normkans. Vanuit de MKBA is dit ook mogelijk.
4-1	300	MKBA/LIR		0,50	2	?			Vanuit het LIR is een lagere normkans meer passend dan de huidige 1/300 per jaar normkans. De normkans wordt echter ook bepaald door de MKBA-eis.
4-2	1000	MKBA		0,50	2	?			De LIR-eis wordt minder streng, maar is hier niet bepalend. De hogere discontovoet leidt tot een iets strengere economisch optimale kans. Zonder betere overstroomingssimulaties is er geen aanleiding de norm aan te passen.
5-1	3000	LIR		0,50	2	?			Vanuit het LIR is een lagere normkans meer passend dan de huidige 1/1000

Norm			LIR		MKBA				J. Totale effect MKBA en LIR
A. Traject	B. Signale ring (1/kans) jaar	C. Bepalend criterium	D. Update simulaties	E. Effect evacuatie verwachtings waarde	F: Discon to voet + ec. groei	G. Effect SSM 2017	H. Nieuw bouw	I: Totale Effect MKBA	
									per jaar normkans. Vanuit de MKBA is dit ook mogelijk.
5-2	3000	LIR		0,50	2	?			Vanuit het LIR is een lagere normkans meer passend dan de huidige 1/3000 per jaar normkans. Vanuit de MKBA is dit ook veel passender
6-1	3000	MKBA		0,80	2	1,21		2,4	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
6-2	3000	Aanvullen de afweging		0,80	2	1,45		2,9	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
6-3	3000	MKBA/ LIR		0,82	2	0,65		1,3	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
6-4	3000	Aanvullen de afweging		0,82	2	1,09		2,2	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
6-5	3000	LIR		0,82	2	1,42		2,8	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
6-6	3000	LIR		0,82	2	1,13		2,3	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
6-7	10000	MKBA		0,82	2	0,99		2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
7-1	3000	MKBA		0,80	2	0,60		1,2	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
7-2	3000	MKBA/ LIR		0,80	2	1,37		2,7	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
8-1	30000	MKBA		0,80	2	1,49		3,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
8-2	30000	MKBA		0,80	2	1,44		2,9	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
8-3	30000	MKBA		0,80	2	1,33		2,7	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
8-4	30000	MKBA		0,80	2	1,33		2,7	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
8-5	3000	MKBA		0,80	2	?		2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
8-6	3000	MKBA		0,80	2	?		2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
8-7	3000	MKBA		0,80	2	?		2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
9-1	1000	MKBA		0,80	2	1,31		2,6	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
9-2	3000	MKBA		0,80	2	0,93		1,9	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
10-1	3000	MKBA/ LIR		0,80	2	1,61	aanda cht	3,2 + effect nieuw bouw	De kanseis vanuit de MKBA wordt strenger zowel door de nieuwe discontovoet en economische groei, als door gebruik van het nieuwe schade en slachtoffermodel en door de bovengemiddelde nieuwbouwplannen. De kosten zijn hier gesteld op 4,6 M€/km. Het betreft een vooral landelijk gebied met weinig bebouwing. Er is geen indicatie dat deze kosteninschatting te laag is. In dit gebied is aangepast bouwen dan ook sterk aan te raden om te voorkomen dat de nieuwbouw werkelijk leidt tot een dergelijke toename van de potentiële schade.
10-2	3000	LIR		0,80	2	0,89		1,8	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
10-3	10000	MKBA/ LIR		0,80	2	1,35		2,7	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen

Norm			LIR		MKBA				J. Totale effect MKBA en LIR
A. Traject	B. Signale ring (1/kans) jaar	C. Bepalend criterium	D. Update simulaties	E. Effect evacuatie vewachtin gs waarde	F: Discon to voet + ec. groei	G. Effect SSM 2017	H. Nieu w bouw	I: Totale Effect MKBA	
11-1	3000	MKBA/ LIR		0,80	2	1,07		2,1	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
11-2	3000	Aanvullen de afweging		0,80	2	1,33		2,7	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
11-3	300	MKBA/ LIR		0,80	2	?		2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
12-1	1000	LIR		1,00	2	?		2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
12-2	3000	Aanvullen de afweging		0,82	2	?		2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
13-1	3000	MKBA/ LIR		0,93	2	1,22		2,4	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
13-2	3000	LIR		0,93	2	1,63		3,3	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen. Het LIR is immers bepalend hier.
13-3	3000	MKBA		0,93	2	1,40		2,8	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
13-4	3000	MKBA		0,93	2			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
13-5	3000	MKBA		0,93	2			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
13-6	3000	MKBA		0,82	2	1,32		2,6	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
13-7	3000	MKBA		0,82	2	1,19		2,4	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
13-8	3000	MKBA		0,82	2	1,09	Aand acht	2,2 + effect nieuw bouw	De kanseis vanuit de MKBA wordt strenger zowel door de nieuwe discontovoet en economische groei, als door gebruik van het nieuwe schade en slachtoffermodel en door de bovengemiddelde nieuwbouwplannen. Het is aan te raden om zoveel mogelijk klimaatadaptief te bouwen om de risicotoename in de toekomst te beperken.
13-9	3000	Aanvullen de afweging		0,82	2	1,25		2,5	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
13a-1	300	Aanvullen de afweging			2			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
13b-1	300	MKBA/ LIR		0,82	2	0,79		1,6	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
14-1	30000	MKBA		0,96	2	?			Er is een wijziging in het inzicht van de bijdrage van overstromingsscenario's met een gesloten Hollandse IJsselkering aan de totale set van mogelijke scenario's, waardoor de gevolgen lager zijn en de MKBA-eis minder streng uitvalt. Het effect van voor dit traject is waarschijnlijk kleiner dan voor 15-3.
14-2	100000	LIR & Groepsrisi co		0,96	2	0,71		1,4	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
14-3	10000	LIR		0,92	2	0,97		1,9	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
14-4	10000	Aanvullen de afweging		0,93	2	1,92		3,8	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
14-5	30000	MKBA		0,93	2	0,75		1,5	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen

Norm			LIR		MKBA				J. Totale effect MKBA en LIR
A. Traject	B. Signale ring (1/kans) jaar	C. Bepalend criterium	D. Update simulaties	E. Effect evacuatie vewachtin gs waarde	F: Discon to voet + ec. groei	G. Effect SSM 2017	H. Nieu w bouw	I: Totale Effect MKBA	
14-6	30000	MKBA		0,93	2	0,78		1,6	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
14-7	30000	MKBA		0,93	2	1,21		2,4	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
14-8	30000	MKBA		0,93	2	1,05		2,1	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
14-9	30000	MKBA/ LIR		0,93	2	1,44		2,9	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
14-10	30000	LIR		0,93	2	1,18		2,4	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
15-1	30000	MKBA		0,67	2	1,06		2,1	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
15-2	10000	MKBA/ LIR		0,96	2	?		2	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
15-3	10000	MKBA		0,96	2	?		<	Nieuwinzicht in betrouwbaarheid sluiten HIJK leidt tot groter gewicht van scenario's bij gesloten HIJK en lagere verwachte schade en mortaliteit. De economisch optimale kans en LIR-eis vallen dan minder streng uit.
16-1	100000	Groepsrisi co (LIR en MKBA)		0,67	2	0,82		1,6	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
16-2	30000	Groepsrisi co (LIR en MKBA)		0,96	2	0,84		1,7	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
16-3	30000	MKBA		0,67	2	0,82		1,6	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
16-4	30000	MKBA		0,67	2	0,84		1,7	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
16-5	-	MKBA			2	?		2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
17-1	3000	LIR		0,96	2	1,60		3,2	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
17-2	3000	MKBA		0,96	2	0,74		1,5	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
17-3	100000	MKBA		0,96	2	0,77		1,5	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
18-1	10000	MKBA		0,96	2	0,80		1,6	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
19-1	100000	Groepsrisi co (LIR en MKBA)		0,96	2	0,74		1,5	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
20-1	30000	MKBA		0,96	2	0,94		1,9	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
20-2	10000	LIR		0,96	2	0,96		1,9	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
20-3	30000	Groepsrisi co (LIR en MKBA)		0,96	2	0,81		1,6	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
20-4	1000	MKBA/ LIR		0,96	2	0,91		1,8	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
21-1	3000	LIR		0,96	2	0,84		1,7	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
21-2	300	MKBA/ LIR		0,96	2	0,59		1,2	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
22-1	3000	MKBA/ LIR		0,96	2	0,98		2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
22-2	10000	Groepsrisi co		0,96	2	0,81		1,6	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
23-1	3000	LIR		0,96	2			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen

Norm			LIR		MKBA				J. Totale effect MKBA en LIR
A. Traject	B. Signale ring (1/kans) jaar	C. Bepalend criterium	D. Update simulaties	E. Effect evacuatie verwachtings waarde	F: Discon to voet + ec. groei	G. Effect SSM 2017	H. Nieuw bouw	I: Totale Effect MKBA	
24-1	10000	MKBA		0,68	2	1,22		2,4	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
24-2	1000	MKBA/LIR		0,67	2	1,66		>3	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
24-3	10000	MKBA/LIR		0,67	2	1,08		2,2	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
25-1	3000	MKBA/LIR	Gebruik van de nieuwe simulaties leidt tot een LIR waarde van $3 \cdot 10^{-5}$	0,93	2	1,03		2,1	De norm wordt hier bepaald door onder andere het LIR. Nieuwe overstromingssimulaties geven een significante overschatting van de LIR waarde van 10^{-5} in een buurt met 190 inwoners. Door evacuatie te verbeteren en aankomsttijd mee te nemen kan aan de basisveiligheidseis worden voldaan.
25-2	1000	MKBA		0,93	2	1,11		2,2	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
25-3	300	MKBA/LIR		0,93	2			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
25-4	300	MKBA/LIR		0,93	2			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
26-1	3000	MKBA/LIR		0,93	2	1,28		2,6	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
26-2	3000	MKBA/LIR		0,79	2	0,95		1,9	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
26-3	10000	LIR		0,79	2	0,82		1,6	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
26-4	1000	MKBA/LIR		0,93	2			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
27-1	3000	MKBA/LIR		0,79	2	1,06		2,1	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
27-2	10000	LIR		0,79	2	0,91		1,8	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
27-3	3000	MKBA		0,93	2			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
27-4	1000	LIR		0,93	2			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
28-1	1000	MKBA		0,79	2	0,63		1,3	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
29-1	3000	LIR		0,93	2			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
29-2	10000	LIR		0,93	2			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
29-3	100000	LIR		0,93	2			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
29-4	1000	LIR		0,93	2			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
30-1	3000	MKBA		0,79	2	1,30		2,6	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
30-2	100000	LIR		0,93	2	1,04		2,1	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
30-3	3000	LIR		0,93	2	Sterke reductie		<3	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
30-4	1000000	Aanvullende afweging		0,93	2	Sterke reductie		<3	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen

Norm			LIR		MKBA				J. Totale effect MKBA en LIR
A. Traject	B. Signale ring (1/kans) jaar	C. Bepalend criterium	D. Update simulaties	E. Effect evacuatie verwachtings waarde	F: Discon to voet + ec. groei	G. Effect SSM 2017	H. Nieuw bouw	I: Totale Effect MKBA	
31-1	30000	LIR		0,93	2	0,72		1,4	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
31-2	10000	LIR		0,79	2	1,07		2,1	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
31-3	300	MKBA /LIR		0,93	2			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
32-1	1000	LIR		0,87	2	1,29		2,6	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
32-2	1000	LIR		0,87	2	0,98		2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
32-3	3000	MKBA		0,87	2	0,83		1,7	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
32-4	3000	LIR		0,87	2	1,05		2,1	Wanneer met de verwachtingswaarde van de evacuatiefractie wordt gerekend
33-1	300	MKBA /LIR	5.7 maal te grote LIR waarde	0,87	1,5			2,0	Hier leidt de nieuwe set overstromingssimulaties tot LIR waardes groter dan 10^{-5} en is nadere analyse van de overstromingssimulaties zelf en de effecten op de kanseisen en norm aan te raden.
34-1	1000	LIR		0,87	1,5			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
34-2	1000	LIR		0,87	1,5	0,87		1,7	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
34-3	3000	MKBA		0,87	1,5			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
34-4	1000	MKBA		0,87	1,5			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
34-5	300	MKBA/ LIR		0,87	1,5			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
34a-1	3000	MKBA /LIR		0,87	1,5	0,63		1,3	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
35-1	10000	MKBA		0,68	1,5	1,50		3,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
35-2	3000	MKBA		0,68	1,5	1,32		2,6	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
36-1	10000	MKBA		0,59	1,5	1,23		2,5	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
36-2	30000	MKBA		0,59	1,5	1,11		2,2	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
36-3	30000	MKBA		0,59	1,5	1,21		2,4	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
36-4	10000	MKBA		0,59	1,5	1,12		2,2	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
36-5	10000	MKBA		0,59	1,5	1,24		2,5	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
36a-1	3000	LIR		0,59	1,5	0,78		1,6	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
37-1	10000	MKBA		0,59	1,5			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
38-1	30000	LIR		0,55	1,5	1,06		2,1	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
38-2	10000	MKBA		0,59	1,5	1,51		3,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
39-1	3000	LIR		0,59	1,5	0,55		1,1	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
40-1	30000	MKBA/ LIR		0,55	1,5	1,25		2,5	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
40-2	10000	LIR		0,59	1,5	1,05		2,1	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
41-1	30000	MKBA		0,55	1,5	1,15		2,3	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen

Norm			LIR		MKBA				J. Totale effect MKBA en LIR
A. Traject	B. Signale ring (1/kans) jaar	C. Bepalend criterium	D. Update simulaties	E. Effect evacuatie verwachtings waarde	F: Discon to voet + ec. groei	G. Effect SSM 2017	H. Nieuw bouw	I: Totale Effect MKBA	
41-2	10000	MKBA/LIR		0,55	1,5	1,12		2,2	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
41-3	3000	MKBA/LIR		0,59	1,5	1,22		2,4	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
41-4	10000	MKBA		0,59	1,5	1,21		2,4	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
42-1	10000	LIR	Door Duitse doorbraken wordt de LIR > 10 ⁻⁵	0,55	1,5	0,85		1,7	De LIR waarde is hoger dan 10 ⁻⁵ wanneer Duitse doorbraken meegenomen worden. Vanwege de lange aankomsttijden en evacuatiemogelijkheden kan voldaan worden aan de basisveiligheid. .
43-1	30000	MKBA		0,55	1,5	1,11		2,2	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
43-2	10000	MKBA /LIR		0,55	1,5	1,26		2,5	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
43-3	30000	MKBA		0,55	1,5			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
43-4	30000	MKBA/LIR		0,55	1,5			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
43-5	30000	LIR		0,55	1,5	1,12		2,2	De LIR-eis kan een klasse lager worden gesteld (zie 2.4).De LIR-eis is in de berekening vermenigvuldigd met een combinatiefactor van 4 en die is hier te hoog. Met een LIR-eis van 1/10000 wordt ook aan de LIR-eis voldaan.
43-6	30000	LIR		0,55	1,5	1,05		2,1	De LIR-eis kan een klasse lager worden gesteld (zie 2.4).De LIR-eis is in de berekening vermenigvuldigd met een combinatiefactor van 4 en die is hier te hoog. Met een LIR-eis van 1/10000 wordt ook aan de LIR-eis voldaan.
44-1	30000	MKBA		0,55	1,5	1,13		2,3	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
44-2	300	MKBA /LIR		0,80	1,5	1,06		2,1	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
45-1	100000	MKBA		0,55	1,5	1,04		2,1	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
45-2	300	MKBA /LIR		0,80	1,5	0,89		1,8	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
45-3	300	MKBA /LIR		0,80	1,5			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
46-1	300	MKBA/LIR		0,80	1,5	?		7,1	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen .
47-1	3000	MKBA/LIR		0,55	1,5	0,86		1,7	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
48-1	30000	LIR	Nieuwe simulaties met ook doorbraken in Duitse traject leiden tot LIR > 10 ⁻⁵	0,55	1,5	1,10		2,2	Door de bijdrage van doorbraken in keringen in Duitsland wordt het LIR in enkele buurten net te hoog. Wanneer rekening gehouden wordt met aankomsttijd en evacuatiemogelijkheden kan wel worden voldaan het basisveiligheidscriterium.
48-2	10000	MKBA		0,55	1,5	1,15		2,3	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
48-3	10000	MKBA		0,55	1,5	1,22		2,4	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen

Norm			LIR		MKBA				J. Totale effect MKBA en LIR
A. Traject	B. Signalering (1/kans) jaar	C. Bepalend criterium	D. Update simulaties	E. Effect evacuatie verwachtings waarde	F: Discon to voet + ec. groei	G. Effect SSM 2017	H. Nieuw bouw	I: Totale Effect MKBA	
49-1	300	MKBA /LIR		0,55	1,5	1,11		2,2	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
49-2	10000	MKBA		0,55	1,5			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
50-1	30000	MKBA		0,55	1,5	1,17		2,3	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
50-2	3000	MKBA		0,55	1,5	1,33		2,7	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
51-1	1000	MKBA/ LIR		0,55	1,5	0,85		1,7	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
52a-1	3000	LIR		0,55	1,5			2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
52-1	3000	MKBA/ LIR		0,55	1,5	0,97		1,9	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
52-2	3000	LIR		0,55	1,5	1,22		2,4	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
52-3	3000	MKBA /LIR		0,55	1,5	1,12		2,2	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
52-4	3000	MKBA	*	0,55	Gecombineerd effect bepaald: Nieuwe minder ernstige overstromingssimulaties, meer schade met SSM2017 en nieuwe discontovoet. Alles tezamen leidt tot een normklasse van 1/3000 per jaar				Geen wijziging nodig
53-1	3000	MKBA		0,55	1,5	1,54		3,1	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
53-2	10000	MKBA /LIR		0,55	1,5	0,98		2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen
53-3	10000	MKBA		0,55	1,5	0,98		2,0	De nieuwe inzichten leiden niet tot significante wijzigingen in de kanseisen

7 Referenties

- Beckers J.V.L. & De Bruijn K.M. (2011). Analyse van slachtofferrisico's. Waterveiligheid 21e eeuw. Projectnummer 1204144. Deltares, Delft.
- Bočkarjova M., Rietveld P. & Verhoef E. *First results immaterial damage valuation: value of statistical life (VOSL), value of evacuation (VOE) and value of injury (VOI) in flood risk context, a stated preference study (III)*. VU Amsterdam: Department of Spatial Economics, 2009.
- Maaskant, B. & Knoeff H. (2016). *Consequentieanalyse Nieuwe Normering & WBI2017*. RWS ongeclassificeerd
- CPB (2004). *Four Futures of the Netherlands; production, labour and sectoral structure in four scenarios until 2040*. Den Haag: Centraal Planbureau, 2004.
- De Bruijn, K.M. (2023). *Veranderingen in inzichten en gegevens gerelateerd aan de normering*. Versie 2023. Project 11209270-011. Deltares, Delft.
- De Bruijn, K.M. en De Grave, P. (2022). *Veranderingen in inzichten en gegevens gerelateerd aan de normering*. Rapport 11206819-012-GEO-0005. Deltares, Delft.
- De Bruijn, K.M. (2020). *Woningbouwopgave en relatie met de waterveiligheidsnormen*. Memo 11203721-014 van 6 januari 2020. Deltares, Delft.
- De Bruijn, K.M. & Kolen, B. (2020). *Rapportage kennisalliantie slachtofferrisico's en evacuatie 2020. Storylines en evacuatiebomen voor Dordrecht en de Gelderse Vallei*. Deltares, Delft.
- De Bruijn, K.M., Kind, J., & De Grave, P. (2019). *Waterveiligheidsnormen: achterliggende factoren en relatie met nieuwbouw en vitale infrastructuur*. Rapport 11203724-010. Deltares, Delft.
- De Bruijn, K.M. et al. (2019). *Analyse van de aannames en uitgangspunten van de Deltabeslissingen en voorkeursstrategieën ten behoeve van de zes-jaarlijkse herijking*. Memo aan Staf Deltacommissaris van 13 Februari 2019, Deltares, Delft.
- De Bruijn, K. M., Klijn, F., van de Pas, B., and Slager, C. T. J. (2015). Flood fatality hazard and flood damage hazard: combining multiple hazard characteristics into meaningful maps for spatial planning, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 15, 1297–1309, <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1297-2015>, 2015.
- De Bruijn, K.M. & Slager, K. (2014). *Mortality functions in the flood impact module*. Deltares Project 1207814-005. Delft, The Netherlands.
- De Bruijn, K.M., W.J. Klerk, F. Diermanse (2014). *Het groepsrisico van overstromingen in Nederland. Eisen aan primaire waterkeringen vanuit verschillende redeneerlijnen*. . Deltares-rapport 1209190- 000-VEB-0005, juli 2014.
- De Bruijn K.M. & Van der Doef M. (2011). *Gevolgen van overstromingen – Informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid 21e eeuw*. 2011. Projectnummer 1204144. Deltares, Delft.
- De Grave P. & Baarse G. (2011). *Kosten van maatregelen – Informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid 21e eeuw*. Projectnummer 1204144. Deltares, Delft.

- Deltaprogramma Veiligheid (2014), *Technisch-inhoudelijke uitwerking van eisen aan primaire keringen, Bijlage F, Aanpak afleiden economisch optimale beschermingsniveau*, Versie DPV 2.2 (definitief), 7 oktober 2014
- Duits, M. (2010). *Karakter van het economisch optimum*. Memo van 10 november 2010. HKV Lijn in Water. PR 2042. HKV.
- ENW advies Waterveiligheid Limburg 19-10-2020. Advies van de ENW aan Deltacommissaris mr. Drs.P. Glas. 19-10-2020
- Huizinga, H.J., en Kok, M. (2013). *Schade bij hoogwater op de Maas. Analyse schadebepalingsmethoden. Definitieve versie*. PR2676.10. HKV Lijn in Water, Delft.
- Jongejan R.B. (2012). *The VNK2-project: quantifying flood risks in the Netherlands*. 2012. Proc. PSAM12/ESREL. 25–29 Jun. 2012, Finland, Helsinki.
- Jonkman, S.N. (2007). *Loss of life estimation in flood risk assessment – theory and applications*. PhD Thesis, Delft University, 2007.
- Kind, Jarl. (2024). Grenzen aan de (over-)vloed, hoe de discontovoet zijn werk doet. Over de rol van de discontovoet in de MKBA voor het berekenen van economisch optimale overstromingskansen. 10.13140/RG.2.2.14715.80163/1.
- Kind, J. (2022). *Grenzen aan de (over-)vloed. Hoe de discontovoet zijn werk doet. Over de rol van de discontovoet in de MKBA voor het berekenen van economisch optimale overstromingskansen*. Versie 27 juli 2022. De Waterwerkers.
- Kind, J. (2013). *Gevoeligheidsanalyse economisch optimale overstromingskansen WV21 voor de Deltascenario's 2012*. Projectnummer 1207830-007, Deltares, Delft.
- Kind, J. (2011a). *Maatschappelijke kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21^e Eeuw*. Projectnummer 1204144, Deltares, Delft.
- Kind, J. (2011b). *Maatschappelijke kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21^e Eeuw. Bijlage G: Monte-Carlo analyse*. Projectnummer 1204144, Deltares, Delft.
- Klijn, F., B. Kolen, J. Knoop, D. Wagenaar, K. de Bruijn, L. Bouwer (2013). *Maatschappelijke ontwrichting door overstromingen voorkomen? Verkenning van groepsrisico als normatieve grondslag en beïnvloedingsmogelijkheden*. Deltares-rapport 1208052, Delft.
- Kolen, B., Maaskant, B., en Pleijter, G. (2014). *Gedifferentieerde slachtofferfuncties: Differentie van slachtofferfuncties naar toestand en locatie ten behoeve van ruimtelijke analyses op gebied van waterveiligheid*. Rapport PR.2704.20. HKV Lijn in Water, Delft.
- Kolen, B., Maaskant, B., Terpstra, T. (2013). *Evacuatieschattingen Nederland. Addendum*. HKV Lijn in Water, Delft.
- Kolen, B., Leenders, J., Dupuits, G. (2021). *Pilot evacuatie dijkkring 48. In het kader van de evaluatie van de normering van waterkeringen en verbetering van de voorbereiding op evacuatie*. Eindrapport. Pr 4483.10. HKV Lijn in Water, Delft.
- Kok, M. & Van der Doef (2006). *Uitgangspunten voor overstromingsscenario's in VNK2*.

- Kok, M., H. Huizinga, A. Vrouwenfelder en W. van den Braak (2005). *Standaardmethode 2005 - Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen*. HKV LIJN IN WATER en TNO Bouw, november 2005.
- Kok, M. (2019). *Normen voor waterkeringen in de Maasvallei*. HKV Advies PR4125, uitgebracht aan de Gedeputeerde Staten van Limburg, 10 december 2019.
- Maaskant, B., Kolen, B., Jongejan, R., Jonkman, S.N. en Kok, M. (2009). *Evacuatieschattingen Nederland. HKV Lijn in Water 2009*, PR 1718.0.
- Min I&M (2016a): *Technisch inhoudelijk uitwerking van eisen aan primaire keringen, bijlagen*. 28 juni 2016
- Min I&M (2016b). *Factsheets normering primaire waterkeringen. Getalsinformatie per dijktraject*. Beschikbaar op:
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjA3b7gtbv1AhXQyaQKHSfnAcgQFnoECBUQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.helpdeskwater.nl%2Fpublish%2Fpages%2F132790%2Ffactsheets_compleet19122016.pdf&usq=AOvVaw3te3TGUIQD1jJK5Wtpn7zy
- Oberijé, N & Rosmuller, N. (2016). *Handreiking Impactanalyse Ernstige Wateroverlast en Overstromingen voor Veiligheidsregio's* (Definitieve versie t.b.v. de pilots Datum: 22 juli 2016). IFV
- Riedstra, D. (2024). *Heroverweging normen primaire waterkeringen Waddeneilanden*. Memo 6 mei 2024 Rijkswaterstaat Verkeer en Leefomgeving.
- Sikking, W. (2024). *Vergelijking schade door overstromingen Maasvallei o.b.v. GIS analyse met dynamische bresberekeningen*. Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, 19 maart 2024.
- Slager, K., & Wagenaar, D. (2017). *Standaardmethode 2017: Schade en slachtoffers als gevolg van overstromingen*. Deltares.
- Slootjes, N. & Van der Most, H. (2016a). *Achtergronden bij de normering van de primaire waterkeringen in Nederland. Hoofdrapport*. Ministerie van infrastructuur en Milieu, DG Ruimte en Water, Directie Algemeen Waterbeleid en Veiligheid.
- Slootjes, N. (2016). *Beschrijving in verschillende versies totstandkoming normen voor de Waddeneilanden*. Memo d.d. 4 februari 2016. Deltares, Delft.
- Terpstra, T., Zethof, M., Maaskant, B. (2014). *Normering dijkkring 48. Studie naar de normering van dijktrajecten vanuit MKBA en LIR*. PR2773.10.HKV Lijn in water PR2773.10. Delft.
- Vergouwe, R. (2014). *De veiligheid van Nederland in kaart. Eindrapportage*. Projectbureau VNK.
 Downloadbaar van: [Veiligheid Nederland in Kaart - Helpdesk water](#)
- Wagenaar, D. (2015). *Consequentieanalyse SSM2015*. Memo 3 juni 2015. Deltares.
- Websites:
- <https://www.rwseconomie.nl/discontovoet>.

A Overzicht van uitgangspunten en aannames

In deze bijlage staat een korte opsomming van de belangrijkste uitgangspunten en aannames die zijn gehanteerd in de kosten-batenanalyse, de analyse van slachtoffer risico's en in de onderliggende studies in DPV (Slootjes, N. & Van der Most, 2016). Tabel A1 geeft een indicatief overzicht van de invoerparameters voor de drie criteria berekend ten behoeve van de normen. De tekst geeft algemene uitgangspunten en een nadere duiding van de parameters in de tabel.

Tabel A1 Overzicht van de belangrijkste invoerparameters met een indicatie van hoe bepalend de gebruikte waardes/keuzes zijn voor de resulterende kanseisen.

Aanname/uitgangspunt	LIR	MKBA	Groepsrisico
Evacuatiefracties	Cruciaal	Gebruikt	Belangrijk
Mortaliteitsfuncties	Cruciaal	Gebruikt	Belangrijk
Schadefuncties	-	Belangrijk	-
Landgebruik in het jaar 2000	-	Belangrijk	-
Inwoners in het jaar 2000	-	Belangrijk	Belangrijk
Schadebedragen voor objecten en landgebruik	-	Belangrijk	-
Buurtgrenzen	Belangrijk	-	-
Overstromingssimulaties	Cruciaal	Belangrijk	Gebruikt
Onzekerheid dijksterktes (fragility curves)	-	-	Belangrijk
Hydraulisch model	-	-	Gebruikt
Kosten 10 keer veiliger	-	Cruciaal	-
Bevolkingsgroei & economische groei van 2011- 2050		Belangrijk	Gebruikt
Discontovoet	-	Cruciaal	-
Klimaatverandering	-	Impliciet beschouwd	-

A.1 Algemeen

Schaalniveau:

De analyses zijn uitgevoerd op het niveau van dijktrajecten: dit zijn dijktringen of gedeelten van dijktringen met een min of meer homogene bedreiging en gevolgen. In totaal zijn er 209 dijktrajecten. De meeste dijktringen zijn opgedeeld in meerdere dijktrajecten op basis van onderscheid in bedreiging (stormvloed/rivierafvoer) of gevolgen bij doorbraak. Ook zijn enkele zeer lange trajecten opgeknipt om grote verschillen in lengte (en daarmee in kansen) te vermijden.

Referentiesituatie

- De referentiesituatie is gericht op de situatie in 2015. In de referentiesituatie is aangenomen dat de lopende 'Ruimte voor Rivierenmaatregelen' en dijkversterkingen welke in 2015 zouden zijn afgerond, daadwerkelijk afgerond worden. De resulterende overstromingskansen zijn bepaald op basis van de VNK2⁹ systematiek.
- Voor de open B-keringen is er vanuit gegaan dat de huidige sluitfrequenties worden gehandhaafd. Van de gesloten B-keringen wordt er vanuit gegaan dat deze niet falen.

Overstromingssimulaties

- Er is een set overstromingssimulaties gebruikt. Met overstromingssimulaties wordt hier bedoeld: simulaties van de overstroming horend bij een bepaalde doorbraaklocatie en buitenwatercondities. Uit deze overstromingssimulaties zijn de kaarten met de maximale waterdiepte, stroomsnelheid en stijgsnelheid gebruikt voor het berekenen van de gevolgen van de doorbraak. De overstromingssimulaties die gebruikt zijn voor het bepalen van de schade en slachtoffers, zijn gemaakt en gerapporteerd in het VNK2¹⁶ project, zoveel mogelijk volgens de richtlijnen van Kok & Van der Doef, (2006).
- In de simulaties is aangenomen dat de meeste regionale waterkeringen standzeker zijn. Uitzonderingen hierop zijn bijvoorbeeld de Knardijk (zie paragraaf 2.3.2).
- Bij de meeste overstromingssimulaties is uitgegaan van bresvorming en bresgroei volgens Verheij van der Knaap. In de gebruikte simulaties is aangenomen dat de dijken breken op de top van de afvoergolf.
- Er zijn overstromingssimulaties gebruikt met buitenwaterstanden horend bij toetspeil¹⁷ en simulaties met 10 of 100 keer kleinere overschrijdingskansen en standaardverloop voor getijde en afvoergolven.

Evacuatiefracties

Voor het bepalen van het aantal dodelijke slachtoffers is uitgegaan van evacuatiefracties. Voor deze fracties is uitgegaan van de onderkant van een band uit Kolen *et al.* (2013). De evacuatiefracties zijn daarmee conservatief gekozen.

Mortaliteitsfuncties

Er is uitgegaan van de mortaliteitsfuncties van Maaskant *et al.* (2009). Deze geven de mortaliteit een locatie op basis van de overstromingskarakteristieken waterdiepe, stroomsnelheid en stijgsnelheid.

A.2 Aannames en uitgangspunten specifiek voor de MKBA

Algemeen MKBA

- Dijkversterking is over het algemeen financieel gezien de goedkoopste maatregel om de overstromingskans te verkleinen. Verondersteld is dat de berekende economische optimale overstromingskansen ook optimaal zijn als later gekozen wordt voor bijvoorbeeld rivierverruiming.
- In de MKBA is gewerkt met kosten en schade exclusief BTW en ander belastingen.
- De economische optimale overstromingskansen (middenkansen) worden bepaald voor het jaar 2050. Deze middenkansen geven het moment aan waarop vanuit economisch oogpunt gestart zou moeten om de waterkering te verbeteren. In de middenkans zit een “besteltijd” van 20 jaar voor waterveiligheid verwerkt. Gedurende deze periode mogen vanuit economische oogpunt de middenkansen (verder) overschreden worden.
- De economisch optimale kans is bepaald op basis van de schade in 2050, de kosten van het verkleinen van de overstromingskans met een factor 10 en de discontovoet.

Discontovoet:

Rentevoet die gebruikt wordt om de huidige (=contante) waarde te berekenen van de toekomstige kosten en opbrengsten van een project. In de MKBA is een discontovoet inclusief risicopremie gehanteerd van 5,5%.

¹⁶ VNK: Veiligheid Nederland in Kaart. Een landelijk project waarin de faalkansen per dijkvak en per dijkkring en de overstromingsrisico's in kaart zijn gebracht. Het project richtte zich vooral op de situatie in 2006 (Jongejan, 2012; Vergouwe, 2014).

¹⁷ Toetspeil: Waterstand met een overschrijdingskans gelijk aan normoverschrijdingskans (welke gold tot 2017)

Schade in 2050

- Er is uitgegaan van een representatieve set overstromingssimulaties. Bij deze set is een soort gewogen gemiddelde schade bepaald als de som van economische schade en gemonetariseerde waarde van slachtoffers en getroffen.
- De schade is bepaald met de Schade en Slachtoffermodule van het Hoogwater Informatie Systeem (HIS SSM versie 2.5) (Kok et al., 2005). In deze module is de meeste data voor landgebruik en maximale schade per categorie gebaseerd op het jaar 2000. Inwoneraantallen zijn gebaseerd op het jaar 2005. De schade, getroffen en slachtoffers zijn hiermee bepaald voor het jaar 2000.
- De economische schade zoals berekend met HIS SSM is verhoogd met 50% om rekening te houden met een aantal schadeposten die niet of onvolledig in HIS SSM zijn opgenomen (waaronder indirecte schade en schade voor LNC-waarden).
- De economische schade zoals berekend met HIS SSM is nog extra verhoogd met 10% om rekening te houden met 'risicoaversie' van huishoudens. Een bepalende aanname hierbij is de veronderstelling dat 75% van de materiële schade als gevolg van een overstroming, door de overheid wordt vergoed.
- Getroffenen zijn inwoners van het overstroomd gebied. Slachtoffers zijn bepaald op basis van HIS-SSM en een evacuatiefractie. Dodelijke slachtoffers zijn in de MKBA gewaardeerd tegen een bedrag van 6,7 M€. Hierin is een opslag voor gewonden meegenomen. De immateriële schade van het getroffen worden door een overstroming is de MKBA gewaardeerd tegen 12.000 € per getroffene. Dit bedrag is inclusief een opslag voor preventief geëvacueerden.
- De totale schade is vervolgens vertaald naar schade in 2011 op basis van de gemiddelde landelijke economische groei van 2000-2011
- De toekomstige schade in 2050 is tenslotte bepaald op basis van het economisch groei scenario welke is toegepast over de periode van 2011 tot 2050. Aangenomen is dat de groei van de schade gelijk is aan de reële groei van het Bruto Binnenlands Product (BBP). Er is uitgegaan van het WLO scenario Transatlantic Market, met een reële groei van 1,9% per jaar.

Kosten 10 keer veiliger:

Kosten van verhogen en versterken van een kering met als doel de faalkans 10 keer veiliger te maken dan de tweede referentiekans van WV21¹⁸. Deze kosten zijn gebaseerd op de volgende aannames:

- De decimeringshoogte van de kruin rond toetspeil¹
- De jaarlijkse relatieve waterstandsstijging door klimaatverandering en bodemdaling. Hierbij is uitgegaan van het W+ scenario. Er is rekening meegehouden dat de Rijnafvoer bij Lobith wordt afgetopt door overstromingen in Duitsland, omdat wordt aangenomen dat de beschermingsniveaus in Duitsland blijvend lager zullen zijn dan in Nederland. Ook is rekening gehouden met het beleid geen extra water over de Nederrijn-Lek te sturen dan de afvoer op deze tak bij een Rijnafvoer te Lobith van 16000 m³/s
- De kosten van dijkverhoging zijn geraamd door gebruik te maken van PRI/SSK systematiek.
- In de MKBA berekeningen is een toeslag van 11% op de investeringskosten gehanteerd als een soort 'bouwrente', omdat in de modelberekeningen geen rekening gehouden wordt met de uitvoeringstermijn van de dijkversterkingen. In werkelijkheid is de uitvoeringstermijn voor dijkversterkingsprojecten enkele jaren. In deze periode kosten de projecten wel geld maar leveren ze weinig of geen extra veiligheid op.

¹⁸ Tweede referentiekans: In WV21 zijn twee referentiesituaties gebruikt: een basisvariant en een tweede referentie. In DPV zijn de kostengetallen horend bij die voor de tweede referentie overgenomen. Zie § 2.4.

A.3 Specifiek voor het LIR

- De eisen vanuit de LIR zijn zo gedefinieerd dat er geen enkele buurt is welke beschermd wordt door 1 of meerdere primaire keringen en waar het LIR groter is dan 10^{-5} .
- De LIR-eis van een dijktraject hangt af van de evacuatiefractie, de mediane waarde van de mortaliteit van een buurt en de bijdrage van andere dijktrajecten aan de LIR waarden van buurten beschermd door het betreffende dijktraject.
- Voor de buurtgrenzen is uitgegaan van het buurtenbestand van 2008.
- Wanneer een buurt beschermd wordt door meerdere dijktrajecten dan worden de LIR-bijdrages van de verschillende dijktrajecten gesommeerd en worden de LIR-eisen zo gekozen dat de totale LIR-waarde lager is dan 10^{-5} .

B Waterdieptekaarten en kanseisen voor Limburg

B.1 Inleiding

Het doel van deze analyse is het bepalen van het effect van nieuwe waterdieptekaarten op de criteria LIR en MKBA die gebruikt worden voor het bepalen van de waterveiligheidsnormen van de dijktrajecten langs het Limburgse deel van de Maas. De waterdieptekaarten dienen de waterdiepte in binnendijks gebied te geven passend bij een mogelijke dijkdoorbraak. De huidige beschikbare waterdieptekaarten op LIWO geven alleen de waterdiepte in binnendijks gebied als gevolg van overloop van de kering weer. In deze kaarten lopen veel keringen niet over en zijn waterdieptes in de beschermde gebieden nul tot heel klein. Deze kaarten zijn daarom niet representatief voor een situatie met een doorbraak van een kering en dus niet geschikt voor het afleiden van een norm of wel een maximale kans op een bres van een dijktraject.

In deze bijlage is toegelicht hoe de nieuwe waterdieptekaarten tot stand zijn gekomen. Daarnaast wordt ook een herziening van de ligging van de dijkringen gedaan ten opzichte van de gebruikte dijkringen die gebruikt zijn voor het bepalen van de normen in DPV (Slootjes & Van der Most, 2016).

B.2 Methode

B.2.1 Methode en invoer voor het maken van een waterdieptekaart

Om een waterdieptekaart voor binnendijks gebied te maken zijn als basis de modelberekeningen van het *waqua-maas-j21_5-v1* model gebruikt. Deze zijn conform WBI2017 en zijn dezelfde modelberekeningen die ten grondslag liggen aan de inundatie buitendijkse gebieden (A) kaarten die op het Landelijk Informatiesysteem Water en Overstromingen ([LIWO](#)) te vinden zijn.

Er zijn voor de herhalingstijden 1/300 en 1/3000 waterdieptekaarten gemaakt. Deze zijn gekoppeld aan bepaalde afvoeren ter hoogte van Eijsden (Tabel B1). De modelresultaten zijn aan ons uitgeleverd door RWS-ZN op 17 april 2023. Bij het maken van deze kaarten zijn de overstromingen gerelateerd aan niet-primaire waterkeringen niet meegenomen (kaarten C in LIWO).

Tabel B1 Koppeling afvoer nabij Eijsden en herhalingstijden

Herhalingstijd (per jaar)	Afvoer Eijsden (m ³ /s) in <i>waqua-maas-j21_5-v1</i>	Scenario in LIWO
1/300	3573	Kleine kans
1/3000	4118	Zeer kleine kans

De volgende stappen zijn uitgevoerd:

1. Bepalen van de rivierwaterstand
2. Extrapoleren van de rivierwaterstand naar de beschermde gebieden
3. Berekenen van de waterdiepte in de bedijkte gebieden.

Stap 1: Bepalen van maximale waterstand

Eerst is de maximale rivierwaterstand bepaald door de maximale waterdieptekaart uit het *waqua-maas-j21_5-v1* model op te tellen bij de hoogtekaart uit dezelfde modelschematisatie. Dit resulteert in maximale waterstanden voor het gehele rivierdal. Hieruit is de maximale waterstand voor de rivieras en andere relevante buitendijkse locaties afgeleid door de waterstandskaart te koppelen aan observatiepunten op de Maas. Deze observatiepunten hebben een afstand van 100m tussen ieder punt, uitgebreid met extra punten waar het dijktraject verder van de hoofdstroom ligt.

Stap 2: Bepalen van maximale waterstand in het beschermd gebied

Om te bepalen wat beschermd gebied is, is er een update van de voormalig dijkringen uitgevoerd. Het dijkringen bestand uit 2012 is zo aangepast dat deze nu de contouren van de huidige trajecten volgt en zijn er oppervlaktes weggehaald of toegevoegd als duidelijk was dat deze veranderd zijn na 2012. In het dijkringenbestand uit 2012 werden de volgende dijkringen samen genomen: 61-1 en 62-1, 63-1 en 63-2, 83-1 en 84-1. In de aanpassing van het bestand worden deze combinaties nu als losse trajecten beschouwd. De trajecten waar aanpassingen aan de voormalig dijkringen gedaan zijn, zijn opgenomen in tabel B2.

Tabel B2. Aanpassingen aan voormalig dijkringen om beschermd/binnendijks gebied te bepalen voor bepalen waterdiepte kaart

Aangepaste dijkringen	Bijzonderheid
93-1	
90-1	90-1 afgeknipt ter hoogte van de Geul = natuurlijke grens.
86-1	
87-1	
83-1	Opgesplitst, was eerst 83-1&84-1
84-1	Opgesplitst, was eerst 83-1&84-1
78-1	
68-2	
65-1	
64-1	
63-1	Opgesplitst, was eerst 63-1&63-2
63-2	Opgesplitst, was eerst 63-1&63-2
62-1	Opgesplitst, was eerst 61-1&62-1
61-1	Opgesplitst, was eerst 61-1&62-1
78-1	Samenvoegen van delen links en rechts van Polderplas

Op basis van het observatiepuntenbestand met rivierwaterstanden een inverse distance weighted (IDW) interpolatie (power-parameter: 1,5) uitgevoerd om de waterstanden over het gehele gebied te verspreiden ongeacht de topografie (grid grootte: 5x5m). Bij deze interpolatie methode worden de waarden van de grid cellen bepaald door de afstand tot een bepaald aantal (hier 5) waterstandspunten die het dichtst bij liggen. Door de power-parameter op 1,5 te zetten wordt de invloed van het dichtst bij gelegen punt groter tijdens de interpolatie. Op deze manier krijgen de waterstanden in binnendijks gebied ongeveer dezelfde waarden als op de Maas. De aanname is dan bij een doorbraak van een kering langs de Maas de maximale waterstand in het beschermd gebied ongeveer gelijk wordt aan de waterstand in de rivier.

Bij gebruik van deze methode is geen rekening gehouden met stroming in het binnendijks gebied. Bij grotere trajecten met een degelijk verval zal bij een bovenstroomse doorbraak het water richting het laagste punt stromen (in Limburg richting noorden), en mogelijk hoger worden dan de waterstand in de rivier op die meer benedenstroomse locatie.

Door deze stroming wordt de maximale waterstand in het bovenstroomse deel van de langgerekte dijkkring bij een doorbraak daar in werkelijkheid iets lager, en in het benedenstroomse deel juist hier hoger dan de waterstand in de rivier op die locaties. Om hiervoor te corrigeren is per grid cell gekeken of de waterstand lager is dan de laagste kruinhoogte van het desbetreffende dijktraject. Wanneer de waterstand lager is dan de laagste kruinhoogte krijgt het deel waarvoor dit geldt de waterstand gelijk aan de minimale kruinhoogte. Trajecten waar dit speelt zijn bijvoorbeeld: 90-1, 87-1 en 83-1.

Stap 3: Bepalen van maximale waterdiepte in het beschermde gebied

De nieuwe waterstanden zijn bepaald door de bodemhoogte van de maximale waterstandskaat af te trekken. Voor de bodemhoogte is het AHN3 (5x5m) gebruikt.

B.2.2 Bepalen schade, slachtoffers en getroffen

Om de effecten van de nieuwe waterdieptekaart te bepalen is gebruikt gemaakt van de meest recente Standaard Schade- en Slachtoffermodule (SSM2017) (Slager en Wagenaar, 2017). In de voorgaande bepalingen is uitgegaan van een oudere SSM versie, namelijk HIS-SSM (2005). Hiermee zijn per dijkkring de totale schade, slachtoffers, getroffen en mortaliteit bepaald voor beide afvoerscenario's. Deze gegevens zijn de invoer voor het bepalen van de economisch optimale kans en het LIR.

Voor gebieden met een waterdiepte van meer dan 2.1 m is ook de stijgsnelheid van belang voor het effect op de mortaliteit. Omdat er voor de waterdieptes in binnendijks gebied geen stijgsnelheden bekend zijn voor de nieuwe kaarten, is er voor gekozen om te rekenen met twee stijgsnelheden (0,5 m/uur en 4 m/uur over de eerste 1,5 m waterdiepte). Door gebruik te maken van deze twee waardes wordt er een conservatief (0.5 m/uur) en worst-case (4 m/uur) scenario bepaald met betrekking tot het aantal slachtoffers.

B.2.3 Bepalen kanseis op basis van het LIR

Het LIR wordt bepaald door drie cruciale factoren. Deze worden in De Bruijn, Kind & de Grave (2019) als volgt aangeduid:

- De kans op een bres in de kering (hiervoor is zowel de ondergrens als signaleringswaarde van de normkans gebruikt);
- De kans om achter te blijven en nog geen veilig gebied bereikt te hebben voor de overstroming (deze is gelijk aan 1 - de evacuatiefractie);
- En de kans om als achtergeblevene te overlijden (de mortaliteit).

$$LIR(t) = \sum_{i=1}^N P_{Nt} * Mortaliteit_N * (1-evac) \quad (\text{Vergelijking 1})$$

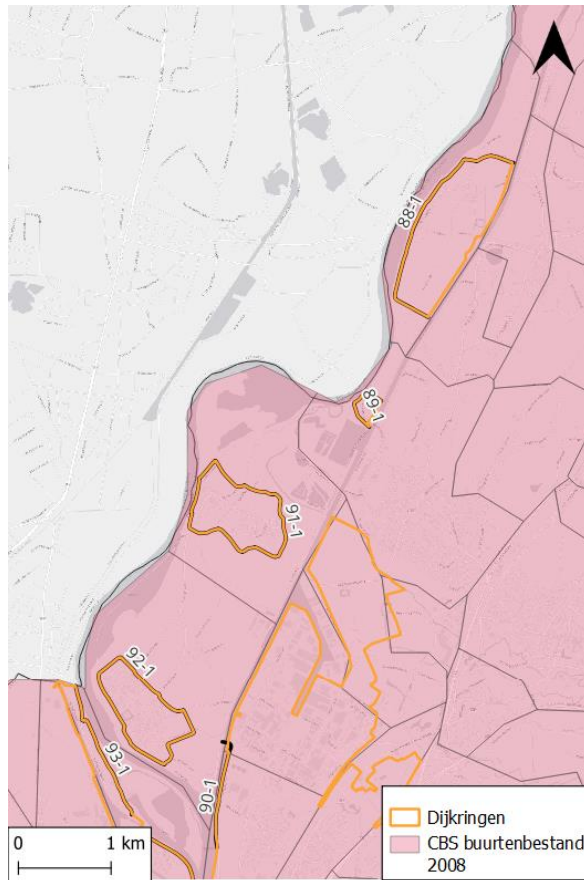
Voor de evacuatiefractie is net als in DPV uitgegaan van 82% voor gebieden grenzend aan hoge gronden en 50% voor dijkkringen die bij hoogwater omgeven worden door water en zo afgesloten zijn van vluchtwegen (eilanden).

Uitsluiten van water

Bij het bepalen van de mortaliteit per dijkkring zijn alle waterdelen uit de mortaliteitskaart (uitvoer SSM2017) gefilterd om geen vertekend beeld te krijgen. Hiervoor is gebruik gemaakt van de meest recente versie van de Basisregistratie Grootschalige Topografie (BGT) (via [PDOK](#)).

Mediane waarde per 'dijkring' (gebied beschermd door een bepaald dijktraject)

Vervolgens is per dijkkring de mediane mortaliteitswaarde bepaald. Er is hier, in tegenstelling tot in de rest van Nederland niet de indeling per buurt van het CBS buurtenbestand 2008, omdat deze voor dit gebied erg grof is. Veel dijkkringen zijn kleiner dan de buurten (Figuur B1).



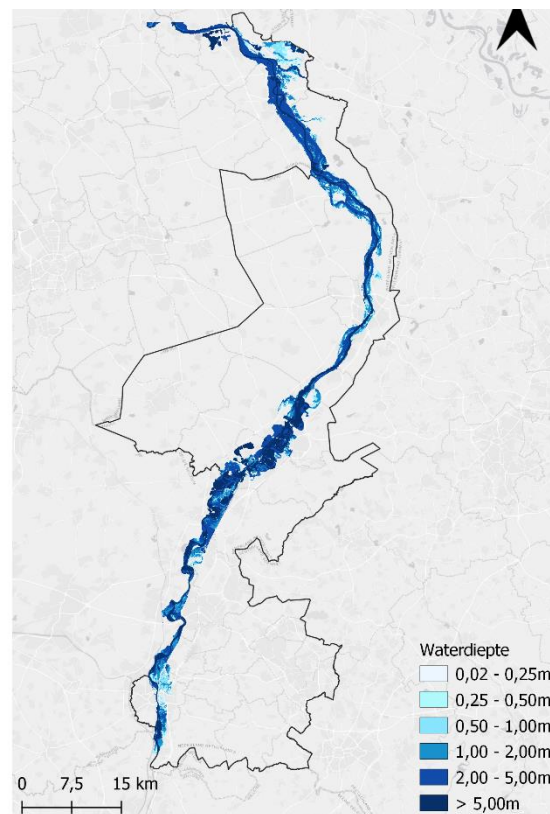
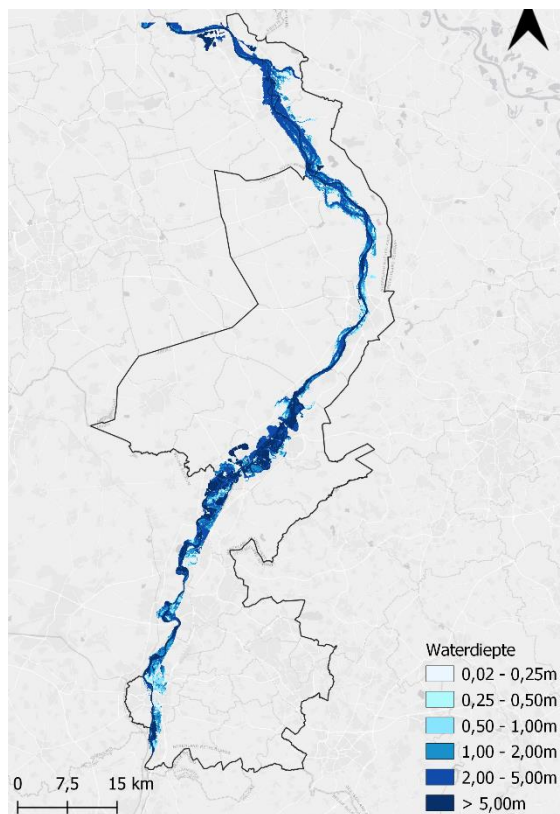
Figuur B1. CBS buurtenbestand 2008 ten opzichte van de Limburgse dijkkringen als gebruikt in berekeningen

B.2.4 Bepalen kanseis op basis van MKBA

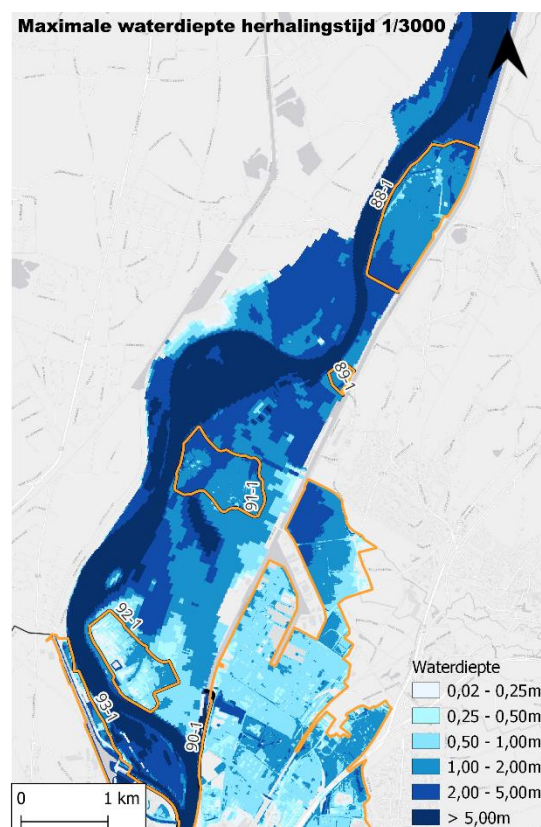
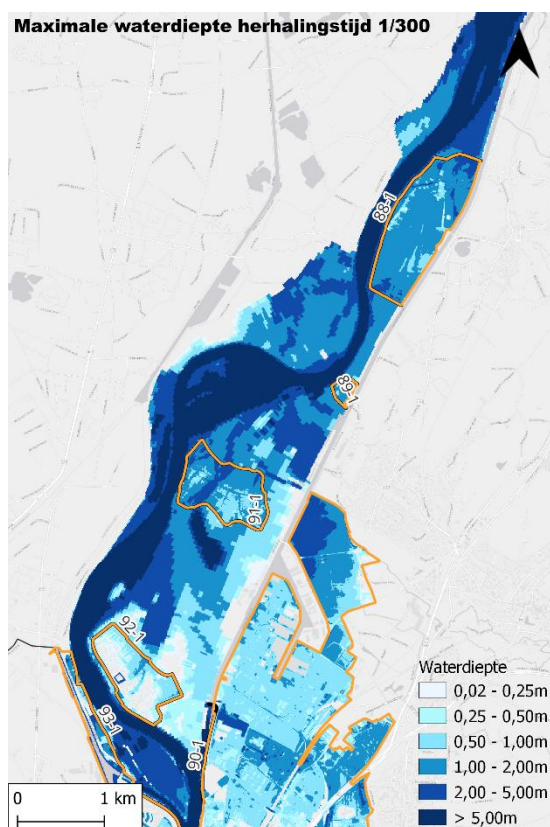
De economisch optimale kans voor het zichtjaar 2050 is bepaald met de directe methode (zie hoofdstuk 3) met zoveel mogelijk identieke uitgangspunten als in DPV (zie ook Factsheets normering primaire waterkeringen (2016)). Een aanpassing t.o.v. DPV is dat door gebruik te maken van SSM2017 de opslagfactor voor niet meegenomen posten voor het bepalen van de economische schade in 2011 verandert van 1,6 naar 1,42 (Gebruikershandleiding SSM2017 Bijlage A). De economisch optimale kans is dan ook berekend met de originele aannames van een economische groei van gemiddeld 1.9% tot aan 2050 en een discontovoet van 5.5 %, conform DPV.

B.3 De resulterende maximale waterdieptekaart

De nieuwe maximale waterdieptekaarten zijn weergegeven in figuur B2 en in meer detail in figuur B3. Het bereik van de nieuwe kaarten is begrensd op de contouren van de provincie Limburg en de 45 daartoe behorende dijktrajecten.



Figuur B2. Maximale waterdiepte kaart Limburg. Links de maximale waterdiepte voor een afvoer met herhalingstijd 1/300 jaar; rechts 1/3000 jaar. Kaartresolutie is 5x5m.



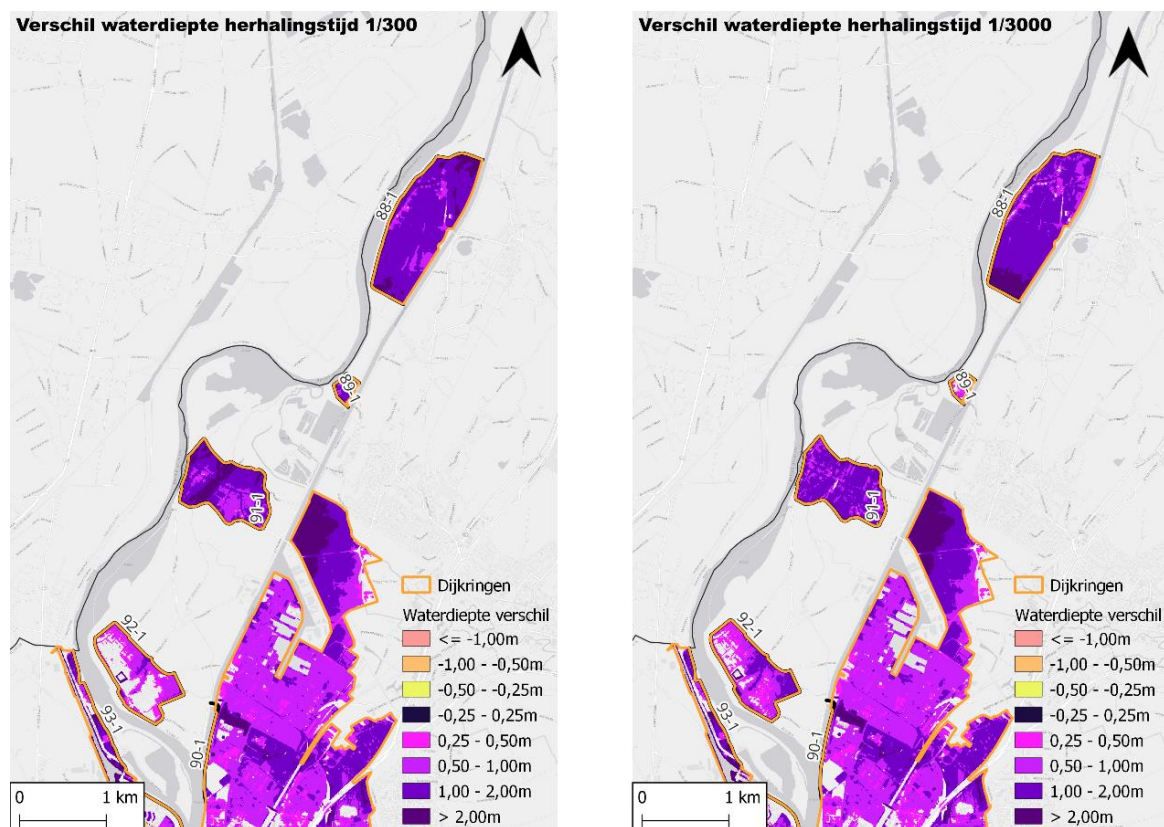
Figuur B3. Maximale waterdiepte kaart Limburg ingezoomd. Links de maximale waterdiepte voor een afvoer met herhalingstijd 1/300 jaar; rechts 1/3000 jaar. Kaartresolutie is 5x5m.

B.3.1 Vergelijking met waterdieptekaarten gebruikt in DPV

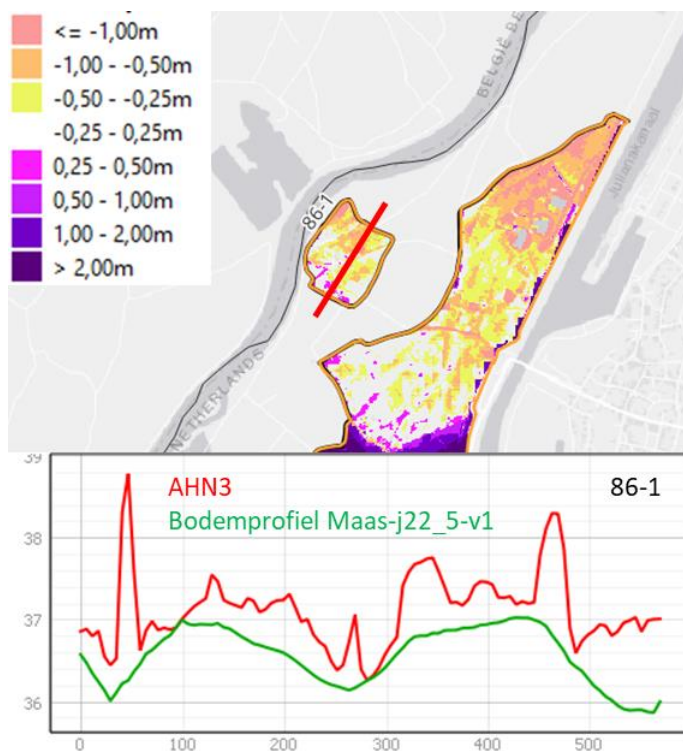
Om te bepalen of de beschreven methode bruikbare resultaten oplevert voor het toetsen van de veiligheidsnormen, worden de hier gemaakte waterdieptes in binnendijks gebied vergeleken met de maximale waterdieptekaarten uit de originele *waqua-maas-j21_5-v1* modelsimulaties op LIWO. Het verschil tussen de twee kaarten is dat in de nieuwe kaarten rekening gehouden is met dijkdoorbraken en gebruik is gemaakt van een recentere en hogere resolutie hoogtekkaart voor binnendijks gebied. In figuur B4 is voor beide waterdieptekaarten een vergelijking gemaakt met de modelresultaten uit *waqua-maas-j21_5-v1* als gebruikt in DPV.

Het algehele beeld is dat er een toename is van de waterdiepte in de nieuwe kaarten. In de binnendijkse gebieden zijn grote verschillen zichtbaar, tot lokaal meer dan 2 m dieper in de nieuwe kaarten. Getallen groter dan nul geven weer dat de waterdieptes in de nieuwe waterdieptekaart groter zijn dan in de in DPV gebruikte kaarten. Deze observatie ligt in lijn met de verwachte toename van waterdiepte aangezien hierin getracht wordt om de situatie na een dijkdoorbraak in te schatten in plaats van alleen door overloop van de kering.

Wel zijn er enkele binnendijkse locaties die in de nieuwe kaarten een lagere waterdiepte hebben ondanks dat de waterstand gelijk of hoger is (87-1, 86-1, 79-1 en 70-1). Dit wordt verklaard door het gebruik van een andere hoogtekkaart (ANH3) ten opzichte van de bestaande modelresultaten. In figuur B5 wordt een voorbeeld van het verschil tussen de twee hoogtekkaarten weergegeven voor dijkkring 86-1. Hier is te zien het maaiveld in het ANH3 op veel plekken hoger ligt dan in het gebruikte model, tot meer dan 1 m. Dit resulteert in kleinere waterdiepte voor deze locaties door het gebruik van een andere hoogtekkaart.



Figuur B4. Verschil in waterdiepte tussen nieuwe waterdieptekaarten en *waqua-maas-j21_5-v1* waterdieptekaarten, als gebruikt in DPV. Een verschil groter dan nul (paars) betekent een grotere waterdiepte in de nieuwe waterdieptekaarten.



Figuur B5. Verschil in topografie tussen AHN3 (nieuwe kaart) en bodemhoogte model (DPV kaart) voor dijkkring 86-1

B.4 LIR en MKBA kanseis

De kanseisen voor het LIR en MKBA zijn opnieuw bepaald voor de nieuwe waterdieptekaarten voor de twee stijgsnelheid scenario's. Deze zijn weergegeven in Tabel B3 en Tabel B4 voor respectievelijk een stijgsnelheid van 0,5 m/uur en 4 m/uur.

Tabel B3 Normeisen op basis van MKBA en LIR voor een stijgsnelheid van 0.5 m/uur over eerste 1,5m waterdiepte.

Traject	MKBA (signaleringswaarde)		LIR signaleringswaarde		
	(1/kans (jaar))	Klasse	(1/kans (jaar))	Klasse	Kans bepaald door
55-1	2041	1000	90	100	MKBA
56-1	546	300	63	100	MKBA/L
57-1	1455	1000	145	100	MKBA
58-1					
59-1	133	100	472	300	LIR
60-1	210	100	159	100	MKBA/LIR
61-1	283	100	124	100	MKBA/LIR
62-1	468	300	110	100	MKBA
63-1	20	100	157	100	MKBA/LIR
63-2	53	100	168	100	MKBA/LIR
64-1	718	300	175	100	MKBA
65-1	527	300	74	100	MKBA
66-1	216	100	53	100	MKBA/LIR
67-1	329	300	93	100	MKBA
68-1	1199	1000	66	100	MKBA

Traject	MKBA (signaleringswaarde)		LIR signaleringswaarde		
	(1/kans (jaar))	Klasse	(1/kans (jaar))	Klasse	Kans bepaald door
68-2	275	100	80	100	MKBA/LIR
69-1	10308	10000	89	100	MKBA
70-1	455	300	129	100	MKBA
71-1	155	100	72	100	MKBA/LIR
72-1	193	100	84	100	MKBA/LIR
73-1	325	300	175	100	MKBA
74-1	913	300	201	100	MKBA
75-1	488	300	138	100	MKBA
76-1	2077	1000	61	100	MKBA
76-2	1169	1000	51	100	MKBA
76a-1	232	100	63	100	MKBA/LIR
77-1	751	300	116	100	MKBA
78-1	806	300	159	100	MKBA
78a-1	-	-	196	100	LIR ¹⁹
79-1	866	300	231	100	MKBA
80-1	399	300	207	100	MKBA
81-1	289	300	130	100	MKBA
82-1	104	100	107	100	MKBA/LIR
83-1	284	100	127	100	MKBA/LIR
84-1	6	100	191	100	MKBA/LIR
85-1	945	300	201	100	MKBA
86-1	222	100	153	100	MKBA/LIR
87-1	657	300	170	100	MKBA
88-1	125	100	169	100	MKBA/LIR
89-1	39	100	113	100	MKBA/LIR
90-1	7054	3000	108	100	MKBA
91-1	416	300	284	100	MKBA
92-1	353	300	59	100	MKBA
93-1	982	300	15	100	MKBA
94-1	372	300	9	100	MKBA
95-1	155	100	0	100	MKBA/LIR

Tabel B4 Normeisen op basis van MKBA en LIR voor een stijgsnelheid van 4 m/uur over eerste 1.5m waterdiepte.

Traject	MKBA (signaleringswaarde)		LIR signaleringswaarde		
	(1/kans (jaar))	Klasse	(1/kans (jaar))	Klasse	Kans bepaald door
55-1	2124	1000	101	100	MKBA
56-1	546	300	49	100	MKBA
57-1	1457	1000	111	100	MKBA
58-1	0	100	0	100	MKBA/LIR
59-1	133	100	474	300	LIR

¹⁹ Geen MKBA berekening beschikbaar

Traject	MKBA (signaleringswaarde)		LIR signaleringswaarde		
	(1/kans (jaar))	Klasse	(1/kans (jaar))	Klasse	Kans bepaald door
60-1	211	100	170	100	MKBA/LIR
61-1	283	100	144	100	MKBA/LIR
62-1	468	300	99	100	MKBA
63-1	20	100	124	100	MKBA/LIR
63-2	53	100	223	100	MKBA/LIR
64-1	718	300	86	100	MKBA
65-1	527	300	62	100	MKBA
66-1	216	100	30	100	MKBA/LIR
67-1	329	300	83	100	MKBA
68-1	1202	1000	75	100	MKBA
68-2	276	100	62	100	MKBA/LIR
69-1	10308	10000	47	100	MKBA
70-1	466	300	145	100	MKBA
71-1	155	100	105	100	MKBA/LIR
72-1	193	100	28	100	MKBA/LIR
73-1	328	300	165	100	MKBA
74-1	1000	1000	200	100	MKBA
75-1	499	300	194	100	MKBA
76-1	2198	1000	32	100	MKBA
76-2	1169	1000	67	100	MKBA
76a-1	239	100	58	100	MKBA/LIR
77-1	764	300	103	100	MKBA
78-1	825	300	159	100	MKBA
78a-1	-	-	166	100	LIR ²⁰

²⁰ Geen MKBA berekening beschikbaar

Tabel B5 Kanseisen (signaleringswaarden) (in 1/jaar) bepaald met de indicatieve waterdieptekaarten, en geactualiseerde dijkringbegrenzing, en gebruik makend van SSM2017 i.p.v. HIS-SSM. De discontovoet is hier nog niet aangepast. Als gerekend wordt met de nieuwe discontovoet en economische groei, dan wordt de MKBA eis 2 maal strenger.

Traject		1/ DPV norm	MKBA kanseis			LIR kanseis		Bepale nd	Strengste eis (jaar)
			Reken waarde	Afronding Methode Limburg	Standaard afronding (jaar)	Reken waarde	Klasse		
54-1	Ottersum-Mook	1000	1496	1000	1000	150	100	MKBA	1000
55-1	Gennep	1000	2124	1000	3000	101	100	MKBA	3000
56-1	Afferden	300	546	300	300	49	30	MKBA	300
57-1	Nieuw Bergen	300	1457	1000	1000	111	100	MKBA	1000
58-1	Groeningen	300	40	100	300	74	100	MKBA	300
59-1	Bergen	300	133	100	300	474	300	LIR en MKBA	300
60-1	Well	300	211	100	300	170	100	MKBA	300
61-1	Wanssum	300	283	100	300	144	100	MKBA	300
62-1	Wanssum62	300	468	300	300	99	100	MKBA	300

63-1	Blitterswijk	300	20	100	300	124	100	MKBA	300
63-2	Blitterswijk6 3-2	300	53	100	300	223	300	LIR en MKBA	300
64-1	Broekhuizen v orst	300	718	300	1000	86	100	MKBA	1000
65-1	Arcen	300	527	300	300	62	100	MKBA	300
66-1	Lottum	300	216	100	300	30	30	MKBA	300
67-1	Grubbenvorst	300	329	300	300	83	100	MKBA	300
68-1	Venlo-Velden Zuid	1000	1202	1000	1000	75	100	MKBA	1000
68-2	Venlo-Velden Noord	300	276	100	300	62	100	MKBA	300
69-1	Blerick Noord	1000	10308	10000	10000	47	30	MKBA	10000
70-1	Baarlo	300	466	300	300	145	100	MKBA	300
71-1	Belfeld	300	155	100	300	105	100	MKBA	300
72-1	Kessel	300	193	100	300	28	30	MKBA	300
73-1	Beesel	300	328	300	300	165	100	MKBA	300
74-1	Neer	300	1000	1000	1000	200	300	MKBA	1000
75-1	Buggenum	1000	499	300	300	194	300	LIR en MKBA	300
76-1	Roermond (76-1)	300	1395	1000	1000	32	30	MKBA	1000
76-2	Roermond (76-2)	300	1169	1000	1000	67	100	MKBA	1000
76a- 1	Roermond (76a-1)	300	376	300	300	58	100	MKBA	300
77-1	Roermond (77-1)	300	764	300	1000	103	100	MKBA	1000
78-1	Heel 1	300	825	300	1000	159	100	MKBA	1000
78a- 1	Beegden ¹	-	0	-	300	213	300	MKBA	300
79-1	Thorn- Wessem ¹	300	882	300	1000	262	300	MKBA	1000
80-1	Maasbracht	300	400	300	300	404	300	LIR en MKBA	300
81-1	Stevensweert	300	295	100	300	146	100	MKBA	300
82-1	Aasterberg	300	104	100	300	109	100	MKBA	300
83-1	Grevenbicht_ Visserweert	300	315	300	300	98	100	MKBA	300
84-1	Grevenbicht_ Visserweert8 4	300	6	100	300	174	300	LIR en MKBA	300
85-1	Urmond	300	1393	1000	1000	296	300	MKBA	1000
86-1	Meers_Maas band	300	222	100	300	128	100	MKBA	300
87-1	Meers_Maas band	1000	911	300	1000	178	300	MKBA	1000
88-1	Aan de Maas	300	125	100	300	169	100	MKBA	300
89-1	Voulwames	300	39	100	300	159	100	MKBA	300
90-1	Maastricht	3000	7095	3000	10000	63	100	MKBA	10000
91-1	Itteren	300	416	300	300	424	300	LIR en MKBA	300
92-1	Borgharen	300	354	300	300	100	100	MKBA	300
93-1	Boscherveld	1000	983	300	1000			MKBA	1000
94-1	Maastricht west	300	373	300	300	15	30	MKBA	300
95-1	Eijsden	300	155	100	300	9	30	MKBA	300

Traject	MKBA (signaleringswaarde)		LIR signaleringswaarde		
	(1/kans (jaar))	Klasse	(1/kans (jaar))	Klasse	Kans bepaald door
79-1	882	300	262	100	MKBA
80-1	400	300	404	300	MKBA/LIR
81-1	295	100	146	100	MKBA/LIR
82-1	104	100	109	100	MKBA/LIR
83-1	315	300	98	100	MKBA
84-1	6	100	174	100	MKBA/LIR
85-1	1393	1000	296	100	MKBA
86-1	222	100	128	100	MKBA/LIR
87-1	911	300	178	100	MKBA
88-1	125	100	169	100	MKBA/LIR
89-1	39	100	159	100	MKBA/LIR
90-1	7095	3000	63	100	MKBA
91-1	416	300	424	300	MKBA/LIR
92-1	354	300	100	100	MKBA
93-1	983	1000	0	100	MKBA
94-1	373	300	15	100	MKBA
95-1	155	100	9	100	MKBA/LIR

*voor de normtrajecten Gennep (55-1), Thorn Wessum (79-1) en Beegden (78-a1 gelden maatwerkafspraken vanwege de inzet als retentiegebied.

C Toelichting op de LIR bepaling van dijktraject 43_5 en 43-6

Dit is overgenomen uit hoofdstuk 4 van de Memo dd 11 maart 2024 getiteld: "Extra vragen n.a.v. de analyse t.b.v. evaluatie normen 2022-2023" geschreven door K.M. De Bruijn.

Er is in De Bruijn (2023) speciaal gekeken naar 43-5 en 43-6 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden 5 en 6) aangezien deze opvallen door een extreem hoge rekenwaarde voor de mortaliteit (29 en 20%) (zie Min. I & M , 2016b en tabel 3.1). Deze werden gevonden op basis van een mortaliteit van ongeveer 7 en 5% ten gevolge van doorbraken in het betreffende dijktraject zelf en vermenigvuldigd met een factor 3,9 om rekening te houden met doorbraken van andere dijktrajecten.

Die vermenigvuldiging met een factor 3,9 is hier onterecht blijkt uit de berekening van het LIR voor de LIR kaart in figuur 3.1. In de analyse van 2023 is de LIR kaart opnieuw gemaakt met behulp van de zogenaamde google-earth engine: een GIS analyse die nauwkeuriger is bij het bepalen van LIR waardes van buurten die door meerdere normtrajecten beschermd worden dan de destijds gebruikte excelspreadsheet. Hierin is geen combinatiefactor bepaald, maar is de berekende LIR-bijdrage vanuit verschillende normtrajecten opgeteld.

Werkwijze

In de nieuwe berekeningen is de methode van DPV overgenomen: eerst is per overstromingsscenario de mortaliteit berekend per rastercel (100m). Vervolgens zijn de scenario's gecombineerd op basis van de kansen op doorbraak per normtraject en de kansbijdrage aan de trajectfaalkans van het dijkgedeelte waarvoor het scenario representatief is. Voor iedere doorbraaklocaties is een scenario gebruikt bij toetspeil (de 1/1250 per jaar buitenwatercondities) en bij condities met een overschrijdingskans van 1/12.500 per jaar (bovenmaatgevende condities). Er is uitgegaan van onafhankelijkheid van de verschillende normtrajecten van de Betuwe. De bijdragen van de verschillende trajecten is opgeteld. (Dit geeft mogelijk een overschatting van het risico, maar dit is wel de standaardwerkwijze). Vervolgens zijn alle rastercellen die water als landgebruik kennen (bijvoorbeeld die in de Linge) verwijderd. Daarna is per buurt de mediane waarde voor het LIR berekend (CBS buurt 2008 net als bij het afleiden van de normen) .

Tabel 3.1 Overzicht van de Factsheets DPV: normen en gebruikte rekenwaarden aangevuld met de in 2023 gebruikte waarden bij de evaluatie van de normen

	Traject	43-5	43-6
DPV	LIR eis	1/10000 (ondergrens)	1/10000 (ondergrens)
		1/30000 (signaleringswaarde)	1/30000 (signaleringswaarde)
	Evacuatiefractie (ondergrens bandbreedte)	0.56	0.56
	Mortaliteit dit traject volgens DPV	7,6%	5,2 %
	Mortaliteit bij overstroming vanuit andere trajecten	29,6 %	20,1 %
	Maatgevende buurt	BU02140501 (7,6%)	BU02810001 (en iets lager BU02810002)
Nieuwe analyse	Nieuwe LIR- bij norm (ondergrens) in de voorheen maatgevende buurt	BU02140501: $2,5 \cdot 10^{-6}$ per jaar	BU02810001 (en iets lager BU02810002): $1,7 \cdot 10^{-7}$, en $2,0 \cdot 10^{-7}$ per jaar
	Analyse 2024: buurt met hoogste waarde in dijkkring 43 en waarde	BU05121411 (Oost II, bij Gorinchem-Oost): $4,8 \cdot 10^{-6}$ per jaar	

De gehele procedure is dus dan nu als volgt:

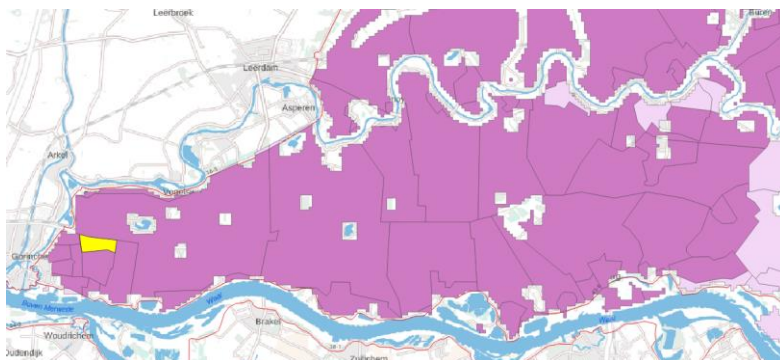
- Van elk overstromingsscenario worden de overstromingskarakteristieken op een raster van 100 bij 100 m bepaald.
- Voor elk scenario wordt per locatie de mortaliteit bepaald op basis van deze karakteristieken en mortaliteitsfuncties.
- Het LIR per locatie wordt vervolgens berekend met:
- $LIR = P_F(1 - f_{\text{evacuatie}})(0,4m_{\text{worstcase}} + 0,6 \sum P_{\text{cond},i} m_i)$
- De mediaan van het LIR wordt bepaald per buurt. De mediaan geeft een indruk van de meest voorkomende waarde per buurt. Uitschieters hebben wel invloed op het gemiddelde, maar niet op de mediaan.

Waarin:

- $f_{\text{evacuatie}}$ is de gemiddelde evacuatiefractie (hier is gerekend met 56% net als bij het afleiden van de normen)
- P_F is de overstromingskans van het betreffende dijkkringdeel (gelijk aan de huidige wettelijke normfrequentie voor keringen van de dijkkring. Hier is gerekend met de ondergrens).
- $P_{\text{cond},i}$ is de conditionele kans op scenario i: Deze is afhankelijk van de kansbijdrage van het dijkgedeelte waarvoor het betreffende scenario representatief is, aan de totale faalkans van het normtraject. Hierbij is aangenomen dat als de dijken aan de norm voldoen, iedere kilometer dijk evenveel bijdraagt aan de faalkans. De bijdrage is dan ook gelijk aan de verhouding van de lengte van het dijkgedeelte waarvoor de breslocatie representatief is en de totale lengte van het normtraject. (Voor een normtraject met twee breslocaties die beiden representatief zijn voor de helft van de totale lengte van het normtraject is de conditionele kans dan ook 0,5).
- m_i is de mortaliteit bij scenario i

De som over de scenario's i omvat alle doorbraakscenario's bij toetspeil van het betreffende normtraject. Voor de mortaliteit in het boven maatgevende scenario wordt de maximale mortaliteit uit alle scenario's van het betreffende dijkkringdeel gebruikt, inclusief de scenario's bij toetspeil plus een decimeringhoogte. De factoren 0.4 en 0.6 volgen uit een aangenomen verloop van het aantal slachtoffers als functie van de waterstand (zie Beckers, 2011).

In het zuidwesten van de Betuwe bij Gorinchem Oost dragen overstromingsscenario's horend bij verschillende normtrajecten samen bij aan het LIR. De buurt met de hoogste mediane LIR waarde is buurt BU05121411 (bij Gorinchem Oost). De LIR is daar gelijk aan $4.8 \cdot 10^{-6}$ per jaar. De locatie is weergegeven in figuur 2.



Figuur 7.1 Buurt met de hoogste LIR waarde in het westen van dijkkring 43 bij Gorinchem Oost

De berekening is herhaald met een klasse soepeler norm voor normtraject 43-5 en 43-6: in plaats van 1/10.000 per jaar is uitgegaan van 1/3.000 per jaar als ondergrens. De overige 4 normtrajecten van dijkkring 43 zijn niet aangepast. In deze nieuwe hypothetische situatie met soepeler normen voor dijkkring 43 (ondergrens) wordt ook in buurt BU05121411 de hoogste mediane LIR waarde gevonden. Deze is dan gelijk aan $7.9 \cdot 10^{-6}$ per jaar en voldoet dus ook nog aan het vereiste maximale LIR waarde van $1 \cdot 10^{-5}$ per jaar. Dit betekent dat wanneer gekeken wordt naar de LIR eis een soepeler norm overwogen kan worden. De keuze voor de norm is een politiek-bestuurlijke keuze en vraagt dan ook politiek-bestuurlijke afweging die buiten de scope van deze memo valt.

C.1 Conclusie

Uit de analyse blijkt dat het basisbeschermingsniveau van de buurten in dijkkring 43 ook bereikt met een klasse soepeler normen voor traject 43-5 en 43-6. In deze analyse is een nauwkeuriger methode van combineren van bijdrages van bijdrages van verschillende normtrajecten toegepast en is gebruik gemaakt van de meest actuele set van overstromingsscenario's.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl