

Meerlaagse veiligheid in Oost-Veluwe

Een casestudy naar de kansrijkheid van tweede- en
derdelaags waterveiligheidsmaatregelen
Kooiman, juni 2013



Meerlaagse veiligheid in Oost-Veluwe

Een casestudy naar de kansrijkheid van tweede- en
derdelaags waterveiligheidsmaatregelen
Kooiman, juni 2013



Meerlaagse veiligheid in Oost-Veluwe

Een casestudy naar de kansrijkdom van
tweede- en derdelaags
waterveiligheidsmaatregelen

Aart Kooiman

12 augustus 2013

Voorwoord

Voor u ligt mijn BSc-eindopdracht, het resultaat van mijn stage tussen 22 april 2013 en 28 juni 2013. Deze stage is uitgevoerd bij kennisinstituut Deltares, het Nederlandse kennisinstituut op het gebied van watermanagement. Dat ik bij Deltares ben uitgekomen, komt doordat ik op zoek was naar een interessant onderwerp met een landelijke impact. Hierop ben ik in contact gebracht met Dr. Nathalie Asselman die mijn begeleider vanuit Deltares is geworden. Zij stelde voor dat ik een casus over meerlaagse veiligheid zou doen.

Meerlaagse veiligheid is een heel goed onderwerp voor mij gebleken. Het is heel interessant om na te denken over hoe op een landelijke ordegrootte dit concept een invulling zou kunnen krijgen in de vorm van de nieuwe waterveiligheidsnorm. Ook is het uitwerken van een casus een goede zet gebleken, omdat je dan een breed scala aan rekenmethodes en eerder gedane inschattingen en aannames nodig hebt om tot conclusies te komen. Ik heb veel plezier beleefd aan het overleggen en discussiëren met mensen om te zorgen dat ik methodes kon doorgronden en bepalen of aannames ook op mijn gebied van toepassing zijn.

Ik ben erg blij met de ondersteuning die ik van mijn begeleiders heb gekregen. Dr. ir. Marjolein Dohmen-Janssen heeft me in de beginperiode op weg geholpen en door altijd goed voorbereid te zijn voor onze overleggen, heeft ze me in de beginfase kunnen helpen het onderzoek vorm te geven. In het bijzonder wil ik dr. Nathalie Asselman bedanken. Ondanks haar altijd drukke agenda heeft ze de tijd genomen om mij verder te helpen. Dankzij haar heb ik niet alleen wat methodes of aannames doorgrond, maar heb ik mogen snuffelen aan het hele nadenken over risico's. Ik heb altijd genoten van het zitten op je bureau en trachten je te overtuigen van mijn kijk op de dingen, of ik nou gelijk bleek te hebben of niet.

Tot slot wil ik mijn vader, Egbert Kooiman, in het zonnetje zetten. Nagenoeg ieder verslag wat ik voor mijn bachelor heb ingeleverd heeft hij naar eigen zeggen met veel plezier gelezen. In de laatste weken van mijn stage heeft hij dit verslag keer op keer gecorrigeerd, tot hij elke punt en komma drie keer gezien had.

Samenvatting

Nederland is een rivierdelta, waardoor het risico op een overstroming altijd een rol zal blijven spelen. Hierdoor heeft Nederland zich ontwikkeld als een van de meest vooraanstaande landen op het gebied van waterveiligheid. De manier waarop deze waterveiligheid in Nederland wordt gerealiseerd is in de loop van de tijd veranderd. Zo is eind vorige eeuw de focus gewijzigd van het verhogen van dijken naar het maken van ruimte voor de rivier.

Op dit moment loopt het deltaprogramma om de basis te leggen voor de waterveiligheid voor de komende eeuw. Voor het overstromingsrisico vanuit rivieren heeft dit tot gevolg dat er met een risicobenadering naar het overstromingsrisico wordt gekeken. Deze risicobenadering houdt in dat er zowel naar de overstromingskans als naar de gevolgen van een overstroming wordt gekeken. Op dit moment wordt onderzocht of maatregelen die een effect hebben op de gevolgen van een overstroming een bijdrage zouden kunnen leveren aan het waterveiligheidsbeleid. Hiertoe is een onderverdeling gemaakt in drie verschillende lagen van veiligheid, die samen meerlaagse veiligheid worden genoemd (Stowa Deltaproof, 2013):

- De eerste laag gaat over **preventie** van een overstroming en heeft als doel een overstroming te voorkomen. Alle maatregelen die op dit moment genomen worden, zoals dijkversterking en rivierverruiming, vallen binnen deze veiligheidslaag.
- De tweede laag bestaat uit maatregelen die als doel hebben een **duurzame ruimtelijke inrichting** te realiseren. Deze ruimtelijke inrichting moet ervoor zorgen dat in het geval van een overstroming de gevolgen beperkt blijven.
- De derde laag richt zich op het verbeteren van de **rampenbeheersing**. Het hoofddoel hiervan is het verkleinen van het aantal slachtoffers in geval van een overstroming.

Voor gebieden met weinig bebouwing kunnen andere type waterveiligheidsmaatregelen nut hebben, omdat voor dijkversterking of rivierverruiming veelal grote investeringen nodig zijn. Wanneer hiermee veel risico wordt vermeden is dat niet zo'n probleem, maar voor gebieden met weinig waarde zou het efficiënter kunnen zijn om in te zetten op een duurzame ruimtelijke inrichting en rampenbeheersing. Vandaar dat het doel van dit onderzoek is om een bijdrage te leveren aan de inzichten op het gebied van meerlaagse veiligheidsmaatregelen, door een casus uit te werken in een kansrijk gebied op het gebied van dit type maatregelen. Dijkkring 52 is als onderzoeksgebied uitgekozen omdat het goed aansluit bij het bovenstaande geschetste beeld van een geschikt gebied. Hiernaast is de overstromingskans een van de grootste van Nederland en zijn er kansen voor het crisismanagement door de nabijheid van de Veluwe.

In het kader van het deltaprogramma worden ook de normen opnieuw vastgesteld. Hierbij worden meerdere opties voor de achterliggende visie voor de norm overwogen. Een andere achterliggende visie kan leiden tot een andere vorm van de norm. In dit onderzoek zijn maatregelpakketten toegespitst op twee visies: economische haalbaarheid en basisveiligheid. Vanuit economische haalbaarheid wordt gekeken naar hoe kostenefficiënt maatregelen zijn door de totale kosten van een maatregelpakket te berekenen. Deze totale kosten zijn een optelsom van het restrisico en de investeringskosten. Voor basisveiligheid wordt gekeken naar het overlijdensrisico in bewoonde gebieden. Hiervoor wordt een maximale norm van 10^{-5} per jaar aangehouden.

Er zijn vijf maatregeltypen onderzocht, welke afhankelijk van het verwachte effect van de maatregel zijn gebruikt om het effect met het oog op economische haalbaarheid, basisveiligheid of beide te toetsen.

- 1) **Dijk versterken (laag 1).** In deze strategie worden de dijken versterkt, waardoor de overstromingskans kleiner wordt. Wanneer puur naar het verlaagde risico gekeken wordt vanuit een economisch perspectief lijkt deze strategie een prima oplossing. Met het oog op robuustheid, ruimtelijke kwaliteit, doelmatigheid en afwenteling is het daarentegen zeer interessant om te onderzoeken of er andere oplossingen zijn.

- 2) **Bypass Deventer (laag 1).** Deze bypass zorgt ervoor dat de rivier meer ruimte krijgt, waardoor de waterstand op de rivier daalt. Dit leidt tot een waterstandsverlaging ter hoogte van en benedenstrooms van Deventer, waardoor de overstromingskans hier kleiner wordt.
In vergelijking met dijkversterking scoort een rivierverruimingsmaatregel als de bypass vele malen beter op het gebied van robuustheid, ruimtelijke kwaliteit, doelmatigheid en afwenteling. Daarentegen is het voor de risicoreductie van dijkeringen met een laag risico uit economisch oogpunt niet haalbaar om grote infrastructurele rivierverruimingsprojecten als een bypass uit te voeren. Met het oog op de baten aan de andere oever wordt in dit onderzoek geen uitspraak gedaan over het al dan niet kostenefficiënt zijn van de bypass bij Deventer.
- 3) **Compartimentering Twello (laag 2).** Om economische schade te voorkomen, wordt een dijk om Twello heen gelegd. Deze zorgt ervoor dat dit economisch waardevolle gebied een 100 keer kleinere overstromingskans heeft.
Deze strategie lijkt een interessante optie op plekken waar een specifieke relatief kleine plaats met een lage dijk beschermd kan worden. De extra efficiëntie moet worden afgewogen tegen een mogelijk gebrek aan draagvlak, de vermindering van de ruimtelijke kwaliteit en het onzeker zijn van het effect van de maatregel in de toekomst.
- 4) **Aangepast bouwen bij de Hoven (laag 2).** In en rond de Hoven zullen huizen in de toekomst zo aangelegd of aangepast worden dat een overstroming hier niet meer leidt tot een slachtofferrisico. Dit omdat rond de Hoven de enige plekken in het zuiden zijn met een te hoog overstromingsrisico. Ten noorden van Deventer zullen de dijken worden versterkt. Hierdoor zal het LIR op alle plaatsen worden verkleind om zo basisveiligheid te realiseren.
Uit het oogpunt van basisveiligheid zijn voor een strategie van aangepast bouwen ongeveer dezelfde investeringskosten nodig als voor het verlagen van het LIR als met dijkversterking. Omdat in dit onderzoek de dijk ten noorden van Twello extra verhoogd wordt, omdat in het noorden een groot gebied met een te hoog LIR ligt, zijn de kosten voor deze strategie nog relatief hoog. Was dit gebied er niet geweest, dan was aangepast bouwen een kostenefficiëntere optie geweest dan dijkversterking. Met het oog op de robuustheid, doelmatigheid en de ruimtelijke kwaliteit van de omgeving lijkt deze aangepast bouwen een interessantere strategie dan dijkversterking.
- 5) **Verbeteren crisismanagement (laag 3).** In deze strategie wordt gekeken naar het effect van het verbeteren van het crisismanagement om zo slachtoffers te voorkomen en het overlijdensrisico te verkleinen. Er wordt zowel uit het oogpunt van economische haalbaarheid als basisveiligheid naar deze maatregel gekeken.
Over het algemeen kan geconcludeerd worden dat hoe zwaarder het slachtofferrisico meetelt, hoe effectiever deze strategie is. Deze strategie is redelijk tot extreem effectief.

Voor maatregelen uit de tweede laag zijn specifieke gebiedskarakteristieken zeer belangrijk om te bepalen of maatregelen kansrijk kunnen zijn. De keuze van de maatregelen moeten een gebiedskenmerk als grondslag hebben. Voor dichtbebouwde kleine oppervlaktes en een kleine overstromingsdiepte lijkt omdijken een logische keuze uit het oogpunt van economische haalbaarheid. Het is goed denkbaar dat omdijken voor soortgelijke gebieden met een hoog LIR uit het oog van basisveiligheid efficiënt lijkt. Voor gebieden met weinig bebouwing lijkt aangepast bouwen een logische zoekrichting.

Maatregelen in de derde beschermingslaag, als het verbeteren van het crisismanagement, zijn kostenefficiënt en zeer effectief in het verlagen van het LIR. Omdat er geen materiële schade wordt voorkomen, moet worden bedacht welke rol het verbeteren van het crisismanagement zou moeten spelen in waterveiligheidsstrategieën. Hoe groter de rol van het overlijdensrisico in de norm, hoe kansrijker de maatregelen die betrekking hebben op het crisismanagement.

Inhoudsopgave

1	INLEIDING	9
1.1	ALGEMEEN.....	9
1.2	DOEL EN HOOFDVRAAG VAN DIT ONDERZOEK	10
1.3	DEELVRAGEN EN LEESWIJZER.....	11
2	ACHTERGRONDINFORMATIE	12
2.1	MEERLAAGSE VEILIGHEID	12
2.2	BEGRIPPEN.....	13
2.3	TOOLS	16
2.4	VERSCHILLENDE WEERGAVEVORMEN	16
3	KEUZE EN BESCHRIJVING STUDIEGEBIED	18
3.1	INLEIDING	18
3.2	ANALYSE KANSRIJKE GEBIEDEN IN NEDERLAND.....	18
3.3	DIJKRING 52.....	20
4	AFWEGING EN CRITERIA.....	22
4.1	AFWEGING.....	22
4.2	CRITERIA.....	23
5	MAATREGELEN.....	24
5.1	MOGELIJKE MAATREGELTYPEN	24
5.2	VERSCHILLENDE UITGEWERKTE STRATEGIEËN.....	26
6	METHODE	28
6.1	REFERENTIESITUATIE	28
6.2	STRATEGIE 1A: DIJK VERSTERKEN	31
6.3	STRATEGIE 1B: BYPASS DEVENTER	32
6.4	STRATEGIE 1C: COMPARTIMENTERING TWELLO	33
6.5	STRATEGIE 1D: VERBETEREN CRISISMANAGEMENT	34
6.6	STRATEGIE 2A: DIJKEN VERSTERKEN	34
6.7	STRATEGIE 2B: AANGEPAST BOUWEN BIJ DE HOVEN.....	35
6.8	STRATEGIE 2C: VERBETEREN CRISISMANAGEMENT	36
6.9	OVERIGE CRITERIA	36
7	RESULTAAT	37
7.1	REFERENTIESITUATIE	37
7.2	STRATEGIE 1A: DIJK VERSTERKEN	39
7.3	STRATEGIE 1B: BYPASS DEVENTER	40
7.4	STRATEGIE 1C: COMPARTIMENTERING TWELLO	42
7.5	STRATEGIE 1D: VERBETEREN CRISISMANAGEMENT	43
7.6	STRATEGIE 2A: DIJK VERSTERKEN.....	44
7.7	STRATEGIE 2B: AANGEPAST BOUWEN ROND DE HOVEN	45

7.8	STRATEGIE 2C: VERBETEREN CRISISMANAGEMENT	47
7.9	OVERIGE CRITERIA	48
8	BEVINDINGEN	53
8.1	AFWEGINGSMETHODIEK 1.....	53
8.2	AFWEGINGSMETHODIEK 2.....	55
8.3	OVERIGE CRITERIA	56
9	DISCUSSIE.....	57
10	CONCLUSIE	59
10.1	HOOFDDOEL.....	59
10.2	UITGANGSPUNTEN ONDERZOEK.....	59
10.3	MAATREGELTYPEN.....	60
10.4	EINDCONCLUSIE	63
11	REFERENTIES	64

Inhoudsopgave figuren

<i>Figuur 1: Gebiedscriteria in Nederland.....</i>	<i>19</i>
<i>Figuur 2: Omgevingskaart dijkkring 52 (Google Earth, 2013).....</i>	<i>20</i>
<i>Figuur 3: Plekken met een LIR groter dan 10-5 per jaar (Google earth, 2013) (Thonus & Wolters, 2013).....</i>	<i>22</i>
<i>Figuur 4: Berekening schade en slachtoffers referentiesituatie</i>	<i>28</i>
<i>Figuur 5: Schade inclusief slachtoffers – referentiesituatie (Thonus & Wolters, 2013).....</i>	<i>37</i>
<i>Figuur 6: LIR in referentiescenario.....</i>	<i>38</i>
<i>Figuur 7: Waterstandsverlaging door bypass Deventer</i>	<i>40</i>
<i>Figuur 8: Versterkingsfactor door bypass Deventer</i>	<i>40</i>
<i>Figuur 9: Waterstandsverlaging aan oostoever door bypass Deventer</i>	<i>41</i>
<i>Figuur 10: Verschil in schadekaart tussen (links) de referentie en (rechts) de situatie met compartimentering van Twello (Thonus & Wolters, 2013)</i>	<i>42</i>
<i>Figuur 11: Waterdiepte rond compartimentering Twello</i>	<i>43</i>
<i>Figuur 12: LIR met strategie 2a</i>	<i>44</i>
<i>Figuur 13: LIR na uitvoer strategie 2b</i>	<i>45</i>
<i>Figuur 14: LIR na uitvoer strategie 2c.....</i>	<i>47</i>
<i>Figuur 15: Totale kosten per strategie</i>	<i>53</i>
<i>Figuur 16: Kostenefficiëntie per strategie</i>	<i>54</i>
<i>Figuur 17: Verandering LIR bij de verschillende strategieën</i>	<i>55</i>

Inhoudsopgave tabellen

Tabel 2: Weergavevormen en doelen van de verschillende grootheden (Zethof et al., 2012)	17
Tabel 3: Meegewogen criteria	23
Tabel 4: Prioritering van de verschillende maatregeltypen	25
Tabel 5: Restriscio bij strategie 1a	39
Tabel 6: Voorbeeldberekening kosten dijkversterking	39
Tabel 7: Restriscio bij strategie 1b	41
Tabel 8: Restriscio bij strategie 1c	42
Tabel 9: Restriscio bij strategie 1d	43
Tabel 10: Scores voor draagvlak	48
Tabel 11: Scores voor robuustheid	49
Tabel 12: Scores voor ruimtelijke kwaliteit	50
Tabel 13: Scores voor doelmatigheid	51
Tabel 14: Scores voor afwenteling	52
Tabel 15: Overzicht totale kosten van de verschillende strategieën	53
Tabel 16: Overzicht investeringskosten en effect op LIR	55
Tabel 17: Overzicht scores andere criteria	56

Inhoudsopgave formules

Vergelijking 1: Rekenmethode Netto Contante Waarde (NCW)	15
Vergelijking 2: Relatie verhoging dijk en versterkingsfactor (Beckers, 2011)	31
Vergelijking 3: Relatie versterkingsfactor en verhoging dijk (Beckers, 2011)	31
Vergelijking 4: Kostenfunctie voor dijkverhoging (De Grave & Baarse, 2011)	35
Vergelijking 5: Verhoging dijk voor het twee keer versterken van de dijk	39
Vergelijking 6: Berekening effect gedeeltelijk dijkversterken op het LIR	45

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Nederland ligt aan de zee en in een rivierdelta. Veel woningen en grote delen van de industrie in Nederland liggen onder zeeniveau of in door rivieren overstroombare gebieden. Om dit alles op een veilige manier mogelijk te maken is het van groot belang om continu te kijken naar de ontwikkelingen en voorspellingen met het oog op waterveiligheid. Voor het rivierengebied is klimaatverandering en de verkleining van de overstromingskans langs de oevers van de rivieren in Duitsland van belang. Dit zal ervoor zorgen dat de afvoeren die Nederland zouden kunnen bereiken in de loop van de volgende eeuw groter zullen worden. Daarnaast is de huidige trend dat er steeds meer bebouwing in de rivierendelta komt (Zanting & Noordam, 2008). Op deze manier worden ook de gevolgen van een overstroming steeds groter.

In de loop der tijd is de manier waarop met dit overstromingsrisico is omgegaan veranderd. Tot eind vorige eeuw is voornamelijk ingezet op het verhogen en versterken van de dijken. Destijds is besloten in te zetten op het geven van ruimte aan de rivier en zo de waterstand te verlagen (Asselman & Voorsluijs, 2012). Op dit moment wordt een risicobenadering gebruikt om te bepalen of ook andere type maatregelen kunnen bijdragen aan de waterveiligheid. Deze risicobenadering houdt in dat naast de kans op een overstroming gekeken wordt de gevolgen hiervan. De maatregelen worden onderverdeeld in drie lagen van veiligheid (Stowa Deltaproof, 2013):

- De eerste laag gaat over **preventie** van een overstroming en heeft als doel een overstroming te voorkomen. Alle maatregelen die op dit moment genomen worden, zoals dijkversterking en rivierverruiming, vallen binnen deze veiligheidslaag.
- De tweede laag bestaat uit maatregelen die als doel hebben een **duurzame ruimtelijke inrichting** te realiseren. Deze ruimtelijke inrichting moet ervoor zorgen dat in het geval van een overstroming de gevolgen beperkt blijven.
- De derde laag richt zich op het verbeteren van de **rampenbeheersing**. Het hoofddoel hiervan is het verkleinen van het aantal slachtoffers in geval van een overstroming.

Een uitgebreide uiteenzetting van het onderscheid tussen de drie verschillende veiligheidslagen staat in paragraaf 2.1 van dit verslag.

Om te kunnen bepalen of maatregelen uit de tweede en derde laag een bijdrage zouden kunnen leveren aan de waterveiligheid zijn er al veel onderzoeken geweest naar de investeringskosten en het effect van maatregelen in deze lagen. Zo zijn er in het kader van het project Waterveiligheid 21^e eeuw (afgekort WV21) verschillende rapporten verschenen om inzicht te krijgen in de verwachte economische schade door overstromingen, het slachtofferrisico in Nederland en de kosten van dijkversterking en enkele tweedelaags maatregelen (Kind et al., 2013). Om meer inzicht in de kosten van maatregelen te krijgen zijn kostenkentallen ontwikkeld. Aan de hand van deze kostenkentallen kan van maatregelen snel een kosteninschatting gemaakt worden (Roosjen & Zethof, 2012). Om te bepalen waar maatregelen in de tweede en derde laag het meeste effect zouden hebben zijn de gebiedskenmerken die hier invloed op hebben vastgesteld en gevisualiseerd in de kansrijkdomkaart meerlaagsveiligheid (Asselman & Slager, 2012). Tevens is om meer inzicht te krijgen in de derde laag van veiligheid een rapport verschenen over de kosten en het effect van op grote schaal investeren in crisismanagement (Kolen & Terpstra, 2012).

Aan de hand van bovenstaande rapporten zijn er enkele gebiedspilots geweest om de effectiviteit van maatregelen in de tweede en derde laag in dat gebied vast te stellen. Hierbij is van gebieden die kansrijk lijken op het gebied van maatregelen die de gevolgen van een overstroming beperken, gekeken welk effect deze maatregelen zouden kunnen behalen. Uit een syntheserapport van deze studies is voortgekomen dat de effectiviteit en kosteneffectiviteit van maatregelen uit de tweede laag zeer gebiedsafankelijk zijn en hierdoor wisselend succesvol. Maatregelen uit de derde laag van veiligheid

lijken kostenefficiënt. Omdat deze maatregelen echter geen materiële schade voorkómen, worden deze maatregelen vooral als zinvol gezien als aanvullende bovenop andere veiligheidsmaatregelen (Oranjewoud, HKV, 2011).

In bovenstaande casussen zijn maatregelen in gebieden genomen waar de gevolgen van een overstroming groot zouden zijn, omdat er veel bebouwing en industrie is. Hierdoor kunnen maatregelen met grote investeringskosten zinvol zijn. Kleine maatregelen zullen hier niet zinvol zijn, omdat ze als een druppel op een gloeiende plaat zullen werken. Er zijn nog geen casussen uitgewerkt in gebieden met kleine gevolgen in het geval van een overstroming. Hier zullen deze kleine maatregelen wel effectief kunnen blijken.

Het lijkt om meerdere redenen interessant om meer onderzoek naar deze gebieden te doen. Ten eerste kan het wellicht goedkoper zijn om de gevolgen van een overstroming te beperken dan de overstroming zelf te voorkomen. Wanneer er bijvoorbeeld alleen één boerderij achter een lange dijk staat, zal het efficiënter zijn om de boerderij hoger aan te leggen dan de hele dijk te versterken. Ook kan, wanneer met een minder sterke dijk wordt gewerkt en in plaats daarvan de gevolgen worden voorkomen, dit een positief effect hebben op andere gebieden. Wanneer er een overstroming in een gebied plaatsvindt, zal de waterstand in de rivier dalen en zal hierdoor de kans op een overstroming in een ander gebied kleiner zijn. Als ervoor gezorgd kan worden dat een gebied geen schade oploopt als het overstroomt, kunnen zodoende andere gebieden, die lastiger te beschermen zijn, veiliger worden.

Het is interessant om nú naar dit type maatregelen te kijken omdat binnenkort een nieuwe beschermingsnorm zal worden ingesteld. Behalve de hoogte van deze norm bestaat ook de mogelijkheid dat het criterium waarop de norm wordt vastgesteld verandert (Deelprogramma Veiligheid, 2013). Dit biedt nu de kans om in het beleid vast te leggen in hoeverre meerlaagse veiligheid mee telt in het doelbereik. Wanneer gekozen wordt voor een overstromingskans als norm, zullen meerlaagse veiligheidsmaatregelen niet meetellen. Echter als bijvoorbeeld het overlijdensrisico als norm wordt ingesteld ontstaan enorme kansen voor maatregelen uit de tweede en derde veiligheidslaag.

Uit recent onderzoek is gebleken dat de overstromingskansen een factor 3 tot 5 groter zijn dan initieel gedacht werd. Dit wordt verder toegelicht in paragraaf 2.2.1. Maatregelen uit de tweede en derde laag hebben een grotere risicoreductie tot gevolg als de overstromingskans groter is. Daarom is het belangrijk om nu een goede afweging tussen maatregelen die de overstromingskans verkleinen en maatregelen die de gevolgen van een overstroming beperken te maken.

1.2 Doel en hoofdvraag van dit onderzoek

Het doel van dit onderzoek is het bijdragen aan de inzichten over de geschiktheid van maatregelen in de tweede en derde beschermingslaag voor het verkleinen van het overstromingsrisico, door het uitwerken van een casus in een kansrijk gebied voor dit type maatregelen. Hierbij wordt specifiek aandacht besteed aan de hierboven beschreven kennisleemte. Hiertoe zal de volgende hoofdvraag uitgewerkt worden:

"Hoe geschikt zijn maatregelen uit de tweede en derde beschermingslaag in een kansrijk gebied voor dit type maatregelen als strategie om het overstromingsrisico te verlagen?"

Dit onderzoek zal dus in de vorm van het uitwerken van een casus, een casestudy, gebeuren. Voor de bruikbaarheid van de aanbevelingen en conclusies van een casestudy is het kiezen van slimme uitgangspunten van groot belang (Doorewaard & Verschuren, 2007). Met het oog hierop is bij het bepalen van de deelvragen gekozen om veel aandacht te besteden aan het kiezen van deze uitgangspunten. Hiernaast is rekening gehouden met de tijdsspanne waarin dit onderzoek moet worden uitgevoerd. Omdat het een klein onderzoek is, zijn de uitgangspunten zo gekozen dat er snel een indruk te verkrijgen is van de kansrijkdom van de gekozen maatregelen.

1.3 *Deelvragen en leeswijzer*

De eerste deelvraag van dit onderzoek is: "Welke aspecten maken het studiegebied geschikt voor maatregelen uit de tweede en derde laag van veiligheid?". Dijkkring 52, oftewel Oost-Veluwe, is gekozen om deze casus in uit te werken. Bij het maken van deze gebiedskeuze is gekeken naar welke aspecten een gebied kansrijk maken op het gebied van maatregelen uit de tweede en derde laag. Hierbij is rekening gehouden met de kennisleemte ten aanzien van gebieden met kleine gevolgen in het geval van een overstroming. Daarna is gekeken naar welke gebieden voldoen aan deze positieve aspecten en is hier een gebied uit gekozen. Deze keuze staat uitgebreid weergegeven in Hoofdstuk 3 – Gebiedsanalyse.

De tweede deelvraag van dit onderzoek luidt als volgt: "Welke visie en daaruit volgende waterveiligheidsnorm is geschikt als uitgangspunt voor dit onderzoek?" Vanuit een visie wat belangrijk is in het gebied volgt een doel. Dit doel wordt gevangen in een afwegingskader om strategieën op doelmatigheid te kunnen toetsen. Bij het bepalen van de visies waarvan is uitgegaan, is de risicobenadering in het achterhoofd genomen en zodoende is gekozen voor het minimaliseren van het economische risico en het minimaliseren van het overlijdensrisico in een gebied. Wat dit precies inhoudt, staat beschreven in Hoofdstuk 4 – Afweging en Criteria.

In hetzelfde hoofdstuk staat de derde deelvraag uitgewerkt, namelijk: "Op basis van welke criteria kan gescoord worden hoe goed een maatregel ten behoeve van het verlagen van het overstromingsrisico is?" Waterveiligheidsmaatregelen worden altijd genomen in een gebied waar mensen leven en zodoende zal het effect hebben op veel meer dan alleen waterbouwkundige aspecten. De belangrijkste aspecten zijn gescoord en meegenomen als criterium.

De laatste deelvraag luidt: "Welke maatregelen lijken kansrijk om in het studiegebied positief te scoren?" Hiertoe is eerst een analyse gemaakt van maatregelen voor risicoreductie die bekend zijn binnen de lagenindeling. Van deze maatregelen is gekeken in hoeverre er kansen binnen dit gebied liggen, in hoeverre verwacht wordt dat deze maatregelen een bijdrage kunnen leveren aan de gestelde doelen uit het afwegingskader en in hoeverre er over de maatregel binnen de tijdsspanne van dit onderzoek uitspraken te doen zijn. De overwegingen en uiteindelijke keuze voor de strategieën staan beschreven in Hoofdstuk 5 – Maatregelen.

Aan de hand van de methodes uit het eerder gedane onderzoek is vervolgens vastgesteld hoe effectief deze maatregelen de doelstelling uit het afwegingskader bereiken. De gebruikte methodes en technieken staan beschreven in Hoofdstuk 6 – Methode. In Hoofdstuk 7 – Resultaat zijn de resultaten van deze berekeningen gerapporteerd. In Hoofdstuk 8 – Bevindingen zijn de eindresultaten samengevat en zijn deze resultaten geanalyseerd. In Hoofdstuk 9 – Discussie wordt besproken waar rekening mee gehouden moet worden bij het trekken van conclusies uit de resultaten. In Hoofdstuk 10 – Conclusie wordt aan de hand van het hoofd- en de subdoelen een conclusie getrokken.

2 Achtergrondinformatie

2.1 *Meerlaagse veiligheid*

Binnen de meerlaagse veiligheid benadering worden drie lagen van veiligheid onderscheiden: Preventie, Duurzame ruimtelijke inrichting en Rampenbeheersing.

2.1.1 **Laag 1 - Preventie**

De eerste laag van veiligheid gaat over het voorkómen van een overstroming. Het doel van deze laag is het reduceren van de overstromingskans tot een acceptabel niveau. De overschrijdingskansen waarop de dijken zijn ontworpen zijn momenteel per dijkkring in het rivierengebied vastgelegd en variëren tussen de 1/250 en de 1/10.000 per jaar (Waterwet, 2013).

Binnen dit onderzoek worden twee typen maatregelen in de eerste laag van veiligheid onderscheiden. Aan de ene kant zijn er maatregelen, zoals dijkversterkingen, die ervoor zorgen dat pas bij een hogere waterstand de dijk doorbreekt en aan de andere kant zijn er maatregelen die ervoor zorgen dat pas bij een hogere afvoer de maatgevende waterstand wordt bereikt. Een typerend voorbeeld van dit laatste is rivierverruiming (Zethof et al., 2012).

2.1.2 **Laag 2 - Duurzame ruimtelijke inrichting**

Zoals hierboven uitgelegd, bestaat in iedere dijkkring een kans dat er een overstroming plaatsvindt. Het is daarentegen niet voor ieder gebied even ernstig als dit onder water loopt. Zo zal er, op het moment dat dorpskernen of industriegebieden overstromen, veel meer schade en slachtoffers zijn dan wanneer er een weiland onder water loopt. Het doel van maatregelen uit de tweede laag is om met behulp van een duurzame ruimtelijke inrichting de schade en het aantal slachtoffers te beperken.

Een voorbeeld van een maatregel in deze laag is het aanleggen van een dijk om een dorpskern heen. Dit zorgt ervoor dat, zelfs als er binnen de dijkkring een overstroming plaatsvindt, het water niet in de dorpskern komt te staan. Een andere maatregel in deze laag is het bouwen van woningen en industrie op hogere gronden, waardoor de schade bij een overstroming minder groot zal zijn (zie o.a. Asselman & Slager, 2012).

2.1.3 **Laag 3 - Rampenbeheersing**

Behalve maatregelen in de ruimtelijke inrichting, wordt nog een ander type maatregelen onderscheiden om de gevolgen van een overstromingsramp te beperken. De derde laag van veiligheid richt zich op het verbeteren van de rampenbeheersing in het geval van een (dreigende) overstroming. Hiermee wordt hoofdzakelijk aangestuurd op het beperken van het aantal dodelijke slachtoffers.

De maatregelen die in de derde laag te nemen zijn, vallen uiteen in twee typen. Aan de ene kant heb je maatregelen die ervoor zorgen dat er minder mensen in het gebied zijn op het moment dat de ramp plaatsvindt, bijvoorbeeld door het verbeteren van de evacuatie. Aan de andere kant zijn er maatregelen die ervoor zorgen dat de kans op overlijden voor mensen die wél in het gebied zijn in het geval van een overstromingsramp wordt verkleind. Hierbij kan gedacht worden aan het geven van voorlichting aan burgers die in een overstromingsgevaarlijk gebied wonen over wat te doen in het geval van een overstroming (Asselman & Slager, 2012).

2.2 Begrippen

Binnen de meerlaagse veiligheid zijn er veel verschillende begrippen die op elkaar lijken, maar net iets anders zeggen over een overstroming. In deze paragraaf zal een introductie worden gegeven wat betreft de verschillende in dit verslag gebruikte begrippen en zal inzicht worden gegeven hoe deze begrippen zich tot elkaar verhouden.

2.2.1 Kans

Binnen dit verslag wordt onderscheid gemaakt tussen twee typen kansen met betrekking tot het bezwijken van een dijk: de overschrijdingskans en de overstromingskans. Tussen deze twee kansen zit een subtiel maar erg belangrijk verschil.

Op dit moment zijn alle dijken gedimensioneerd op basis van de overschrijdingskans van waterstanden. Hiertoe is gekeken wat de waterstand is, die bij de gestelde herhalingsstijd hoort, en zo hoog is de dijk gemaakt. Voor een dijk met een maatgevende overschrijdingskans van 1/10.000, betekent dit dat de dijk de hoogte heeft van de waterstand die een kans van voorkomen heeft van 1/10.000 per jaar. De overschrijdingskans is de kans dat een gegeven waterstand overschreden wordt. Bij nog hogere waterstanden zou het water over de dijk heen kunnen stromen, wat tot gevolg zou hebben dat de dijk bezwijkt.

Naast het overstromen van een dijk zijn er ook andere bezwijkmechanismen voor een dijk. Uit recent onderzoek (ENW, z.d.) is gebleken dat het bezwijkmechanisme 'piping' vaak eerder optreedt dan dat een dijk overstroomt. Bij piping gaat door drukverschil binnen- en buitendijks water door de dijk heen lopen. Wanneer dit water zand meeneemt kan de dijk hierdoor uiteindelijk instabiel worden en bezwijken. De overstromingskans is de kans dat een overstroming plaatsvindt, ongeacht welk faalmechanisme hieraan ten grondslag ligt. De overstromingskans wordt in het kader van waterveiligheid 21^e eeuw in het rivierengebied van Nederland over het algemeen een factor 3 tot 5 keer groter geschat dan de overschrijdingskans ten gevolge van de inzichten over piping (Kuijper & Stijnen & Van Velzen, 2011).

2.2.2 Dijkindelingen

Binnen dit project wordt onderscheid gemaakt tussen drie verschillende indelingen voor dijktrajecten, namelijk een dijkring, een dijkringdeel en een dijktraject (De Grave & Baarse, 2011).

Het hele rivierengebied in Nederland is opgedeeld in dijkringen. Wettelijk is per dijkring vastgesteld hoe groot de overschrijdingskans van de maatgevende waterstand is. Als ergens in een dijkring een dijk doorbreekt, heeft het water daarna vrij spel om zich over de hele dijkring te verplaatsen.

Om de gevolgen van een dijkdoorbraak te berekenen is een opdeling in dijkringdelen gemaakt. Een dijkringdeel is een stuk van een dijkring waar de gevolgen van een overstroming nagenoeg gelijk zijn. Aan ieder dijkringdeel is een locatie gekoppeld waar deze dijkring doorbreekt, die de breslocatie wordt genoemd. Van deze breslocatie zijn de gevolgen uitgerekend. Deze gevolgen worden daarna aan het hele dijkringdeel gekoppeld, omdat de gevolgen immers toch gelijk zouden zijn.

Om de kosten voor dijkversterkingsmaatregelen te berekenen is een opdeling in dijktrajecten te maken. Een dijktraject is een stuk van de dijkring waarvan de kosten per strekkende meter, die gemaakt moeten worden om de dijk sterker te maken, ongeveer gelijk zijn.

2.2.3 Economische schade

Voor de opgelopen economische schades worden twee verschillende typen onderscheid gemaakt. Er wordt onderscheid gemaakt tussen schade inclusief of exclusief slachtoffers, en onderscheid tussen schade die wel of niet gedifferentieerd is over het studiegebied. Wanneer iets gedifferentieerd over een gebied wordt weergegeven, kan een kaart worden gemaakt waarop te zien is hoe de schade over het gebied is verdeeld (Zethof et al., 2012).

Voor berekening van de schade aan materiële zaken, zoals huizen en infrastructuur in het gebied, wordt eerst de maximale schade aan ieder object in het gebied bepaald. Aan de hand van de waterdiepte wordt vervolgens bepaald hoeveel procent van de maximale schade aan dit object wordt opgelopen. Binnen economische schade wordt, naast de schade aan materiële zaken, de schade ten gevolge van sociale ontwrichting meegenomen. Deze wordt in dit onderzoek meegenomen als een schadebedrag van € 12.500,- per getroffene. Een getroffene is iemand die overlast ondervindt van een overstroming, bijvoorbeeld omdat hij moet verhuizen omdat zijn huis onder water staat. Met het woord slachtoffer wordt iemand bedoeld die overlijdt ten gevolge van de overstroming. Wanneer over de schade inclusief slachtoffers wordt gesproken is er voor ieder slachtoffer € 6.700.000,- bij de schade opgeteld (Van der Doef & Kind, 2012). Meer informatie over de berekeningen van schades staat in Hoofdstuk 6 – Methode.

Er kan worden gekozen om de schade gedifferentieerd over het oppervlak van het studiegebied weer te geven. Hierdoor is precies te zien waar de schade is opgelopen, wat behulpzaam is bij het bepalen waar maatregelen in een gebied zinvol en effectief zullen zijn. Door de schade van alle stukjes land vervolgens weer op te tellen wordt de totale hoeveelheid schade in het gebied gekregen. Dit is zinvol bij het vergelijken van het effect van verschillende maatregelen.

2.2.4 Slachtoffers

De aantallen slachtoffers wordt bepaald uit de hoeveelheid mensen die in het gebied aanwezig zijn en de overstromingskarakteristieken waterdiepte, stroomsnelheid en stijgsnelheid. Hieruit wordt de mortaliteit, de ratio van overlijdens onder de aanwezige mensen in het gebied, berekend. Meer informatie over de berekening van slachtoffers staat in Hoofdstuk 6 – Methode.

Evenals de schade kan ook voor het slachtofferrisico worden gekozen om de resultaten gedifferentieerd over het gebied weer te geven. Daarnaast kan het LIR (Lokaal Individueel Risico), de kans om te overlijden ten gevolge van een overstroming, worden weergegeven. Het LIR is plaatsgebonden omdat het afhankelijk is van waterdiepte, stroomsnelheid en stijgsnelheid. Wanneer een gebied bijvoorbeeld vlak naast een dijk ligt, kan het LIR al veel hoger zijn dan een paar honderd meter verderop, afhankelijk van de eerder genoemde gebiedskenmerken. Door het LIR te vermenigvuldigen met het aantal achterblijvers in een gebied, wordt de verwachte hoeveelheid slachtoffers per jaar in een gebied verkregen. Het LIR wordt veelal gezien als een criterium hoe veilig een gebied is (Van der Most, 2011).

Door het slachtofferrisico van ieder stukje gebied op te tellen krijg je het aantal slachtoffers wat per jaar in een gebied te verwachten is. Aan de hand hiervan kunnen de effecten van maatregelen worden beoordeeld en vergeleken. Hiertoe wordt ook veelal naar de hoogste waarde van het LIR in een gebied gekeken, als maatstaf voor hoe veilig een gebied is.

2.2.5 Risico

Normaliter wordt de schade weergegeven in een verwachte schade per jaar, waar de overstromingskans in is meegenomen. Deze eenheid wordt het risico genoemd en is dus te onderscheiden in het risico inclusief en exclusief slachtoffers.

Bij het vergelijken van verschillende pakketten maatregelen is het van belang hoeveel er geïnvesteerd mag worden om een bepaalde reductie in risico te verwezenlijken. Hierbij wordt gebruikgemaakt van de Netto Contante Waarde (Sullivan et al., 2009). Deze Netto Contante Waarde wordt berekend aan de hand van de volgende gegevens:

1. De tijdshorizon. Deze geeft de periode, waarin de reductie in risico en de investeringen tegen elkaar op moeten wegen.
2. De discontovoet. Voordelen die in de toekomst behaald worden zijn minder waard door de inflatie, wat gerepresenteerd wordt door de discontovoet.
3. De economische groei. Geld dat je nu in een waterveiligheidsmaatregel steekt, kan niet anders gebruikt worden. Hiervoor wordt gecompenseerd middels een economische groeifactor.
4. Investeringskosten. De investeringen die nu moeten worden gedaan om de maatregel uit te voeren.

Voor alle perioden binnen de tijdshorizon wordt berekend wat het geld wat je dan bespaart, nu waard is. Door dit op te tellen wordt het bedrag verkregen wat een maatregel nu waard is. De Netto Contante Waarde wordt dus als volgt berekend:

$$\text{Netto Contante Waarde (NCW)} = \text{investeringskosten} + \sum_{t=1}^n \text{restrisico} \cdot (1 - (d - g))^t$$

Met hierin:

n = aantal jaar

d = discontovoet

g = economische groei

Vergelijking 1: Rekenmethode Netto Contante Waarde (NCW)

Aan de hand van deze Netto Contante Waarde (NCW) kan ook de investeringsruimte worden aangegeven. Dit is het verschil tussen de NCW van het overstromingsrisico met en zonder maatregelen. Dit geeft de bandbreedte aan wat de investering mag kosten om economisch gezien uit te kunnen, zonder dat de situatie slechter wordt dan de initiële situatie. De investeringsruimte wordt veel gebruikt voor het onderzoeken van de haalbaarheid van maatregelen waarvan de kosten onbekend of onzeker zijn (Zethof et al., 2012).

2.3 *Tools*

2.3.1 **HIS/SSM**

HIS/SSM (Deltares^b, 2013) is in dit onderzoek gebruikt om de schade en hoeveelheid slachtoffers bij een bepaalde overstromingssimulatie te berekenen. Met behulp van gegevens van welke dingen er in een gebied aanwezig zijn en de overstromingskarakteristieken waterhoogte, stroomsnelheid en stijgsnelheid worden de hoeveelheid slachtoffers en de schade berekend. Met behulp van de overstromingskans worden deze gegevens omgezet in een economisch schaderisico en een slachtofferrisico. Voor dit onderzoek is de output van HIS/SSM overgenomen.

2.3.2 **MLV-Instrumentarium**

Het MLV-Instrumentarium (Thonus & Wolters, 2013) berekend vanuit de gegevens over economische schade- en slachtofferrisico's van HIS/SSM de Netto Contante Waarde van deze gegevens. Hiernaast worden de economische schade- en slachtofferrisico's gedifferentieerd en ordelijk weergegeven, zodat in beeld kan worden gebracht waar de problemen in een gebied zitten.

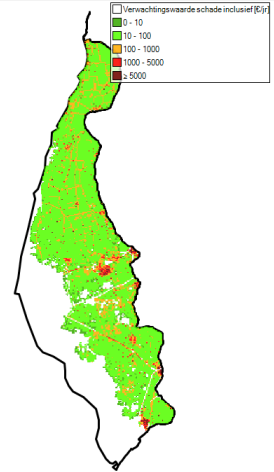
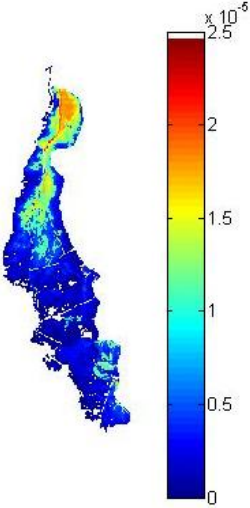
Hiernaast kan met het MLV-Instrumentarium van het hele of een gedeelte van het studiegebied aangegeven worden dat de overstromingskans, de hoeveelheid schade of de hoeveelheid slachtoffers met een factor corrigeren. Op deze manier kan van verschillende maatregelen het effect worden berekend.

2.3.3 **Blokkendoos**

Met de Blokkendoos (Deltaprogramma Rivieren, 2013) is het effect van rivierverruimingsmaatregelen berekend. De Blokkendoos berekend voor een bepaald debiet hoeveel de waterstand daalt door de maatregel. Hierdoor kunnen de waterstanden voor en na een maatregel van elkaar worden afgehaald en zo het verschil in waterhoogte als effect van een maatregel worden verkregen. Ook kan de tool deze waterhoogte vergelijken met een gestelde overschrijdingsnorm om zo te zien of met het pakket van maatregelen de waterstand acceptabel is.

2.4 *Verschillende weergavevormen*

Op de volgende pagina staan de verschillende gebruikte vormen van het weergeven van schade. De gegevens in de kaartjes zijn fictief en niet relevant voor dit onderzoek, het gaat om de manier van weergeven.

Weergavevormen	Doel	Voorbeeld
Economisch risico, gedifferentieerd over het gebied, mogelijk met of zonder slachtoffers	Het geven van een indicatie waar maatregelen genomen kunnen worden en het globaal vergelijken van het effect van verschillende maatregelen	Bijvoorbeeld: 
Economisch risico, niet-gedifferentieerd over het gebied, mogelijk met of zonder slachtoffers	Het vergelijken van het effect van verschillende maatregelen.	Bijvoorbeeld: 5 miljoen euro per jaar
Investeringsruimte	Vaststellen wat een maatregel maximaal zou mogen kosten om economisch rendabel te zijn	Bijvoorbeeld: 80 miljoen euro
Netto Contante Waarde (NCW)	Het vergelijken van de kosteneffectiviteit van verschillende maatregelen	Bijvoorbeeld: 100 miljoen euro
Lokaal Individueel Risico (LIR)	Het geven van een indicatie waar maatregelen genomen kunnen worden om het slachtofferrisico te verkleinen en het globaal vergelijken van het effect van verschillende maatregelen	Bijvoorbeeld: 
Aantal slachtoffers per jaar	Het vergelijken van het effect van verschillende maatregelen	Bijvoorbeeld: 0,05 slachtoffer per jaar
Max. LIR	Het vergelijken van het effect van verschillende maatregelen	Bijvoorbeeld: 10^{-5} per jaar

Tabel 1: Weergavevormen en doelen van de verschillende grootheden (Zethof et al., 2012)

3 Keuze en beschrijving studiegebied

3.1 *Inleiding*

Het doel van dit onderzoek is om meer inzicht te verkrijgen over in hoeverre maatregelen in de tweede en derde beschermingslaag in de toekomst kansrijk zijn om een bijdrage te leveren aan de waterbescherming. Hiervoor is het van belang om een gebied te kiezen dat interessant is voor de tweede en derde laag van veiligheid. Hiernaast is het van belang dat een gebied wordt onderzocht waar nog relatief weinig over bekend is, zodat het onderzoek een bijdrage levert aan het al gedane onderzoek.

Er is gekozen om een aantal gebiedskenmerken vast te stellen die bepalen of een gebied kansrijk is voor maatregelen uit de tweede en derde beschermingslaag. Deze gebiedskenmerken zijn vastgesteld in een gesprek met een expert op het gebied van meerlaagse veiligheid, dr. N. Asselman. Kenmerken komen ook naar voren uit de kansrijkdomkaarten meerlaagse veiligheid (Asselman & Slager, 2012). Als kenmerken zijn alle kenmerken uit de kansrijkdomkaart overgenomen. Hiernaast is de overlijdenskans toegevoegd, met het oog op de huidige politieke belangstelling voor basisveiligheid als uitgangspunt.

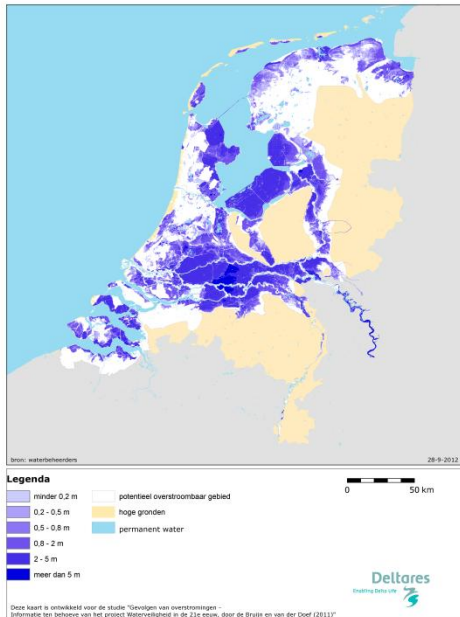
3.2 *Analyse kansrijke gebieden in Nederland*

Hieronder zullen de gebiedskenmerken worden weergegeven die van belang zijn voor het kansrijk zijn van het gebied voor maatregelen uit de tweede en derde laag van veiligheid. Puntsgewijs is een uitleg gegeven waarom dit gebiedskenmerk van belang is. Hieruit volgt voor welke bandbreedte een gebied positief scoort op dit gebiedskenmerk. In de hiernavolgende kaart is te zien hoe de verschillende criteria landelijk scoren.

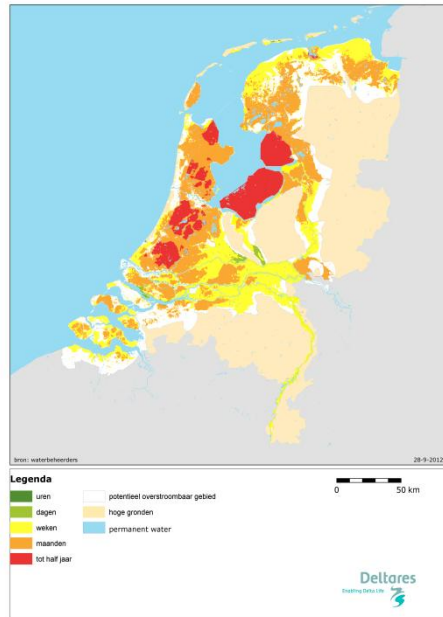
1. **Waterdiepte.** Voor veel maatregelen uit de tweede laag van veiligheid geldt een maximum waterdiepte waarvoor de maatregel zin heeft. Zo wordt bij dryproof en wetproof bouwen een maximum diepte van ongeveer anderhalve meter aangehouden en voor wonen op de eerste verdieping wordt deze hoogte op 2,5 meter geschat. Boven deze diepten is het effect van veel maatregel veelal te verwaarlozen. Met het oog op deze waarden is gekozen een waterdiepte tot 2 meter als positief aan te merken. In het riviergebied is te zien dat gebieden tussen de Nederrijn en de Maas en langs de Maas in Noord-Brabant waterdiepten groter dan 2 meter hebben. Langs de IJssel en de Maas in Zuid-Limburg zijn kleinere waterdiepten dan te vinden (Asselman & Slager, 2012). In de figuur op de volgende pagina is dit linksboven te zien.
2. **Overstromingsduur.** Voor maatregelen waarbij mensen in hun huizen blijven terwijl het gebied eromheen is overstroomt, is de periode dat het water blijft staan van belang. Zo geldt voor maatregelen als dryproof en wetproof bouwen en wonen op de eerste verdieping een maximum overstromingsduur van ordegrrootte dagen of weken (Asselman & Slager, 2012). Met het oog hierop is gekozen een gebied positief aan te merken als de overstromingsduur in de ordegrrootte dagen tot weken ligt. Deze gebieden zijn over het algemeen verder bovenstrooms te vinden. In West-Nederland blijft het water zodoende relatief langer staan dan in Oost-Nederland. In de figuur op de volgende pagina is dit linksonder te zien.
3. **Overstromingskans.** Maatregelen in de tweede en derde laag hebben effect op het moment dat er een overstroming plaatsvindt. Een investering in een maatregel in deze lagen zal dus eerder positief scoren op het moment dat een gebied vaker onder water staat. Uit eerdere studies is gebleken dat maatregelen in laag 2 economisch uitkunnen wanneer een gebied een overstromingskans van maximaal 1/250 per jaar heeft. Er zijn enkele dijkringen langs de IJssel en de Maas die deze grote overstromingskans hebben. In de figuur hieronder is dat rechtsboven te zien.
4. **Overlijdenskans.** Een van de mogelijke toekomstige normen is het kijken naar de overlijdenskans in bewoonde gebieden (Kind et al. 2013). Maatregelen uit de tweede en derde beschermingslaag zijn effectief in het reduceren van het Lokaal Individueel Risico (LIR) en daarmee van de

overlijdenskans. Een veelgenoemde grenswaarde voor het LIR is 10^{-5} per jaar. Deze grenswaarde is ook voor dit onderzoek aangehouden. Gebieden met een hoger LIR dan 10^{-5} per jaar liggen in het centrale rivierengebied en in Drenthe. In de figuur hieronder is dit rechtsonder te zien.

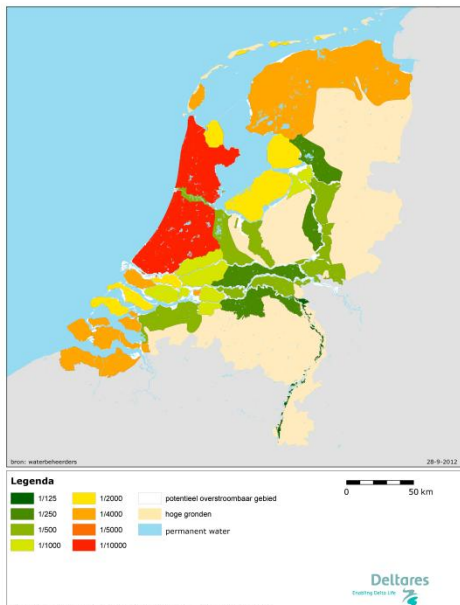
Maximale waterdiepte bij overstromingen als gevolg van doorbraken in primaire keringen
Op basis van WV21 uitgangspunten, met systeemwerking Centraal-Holland



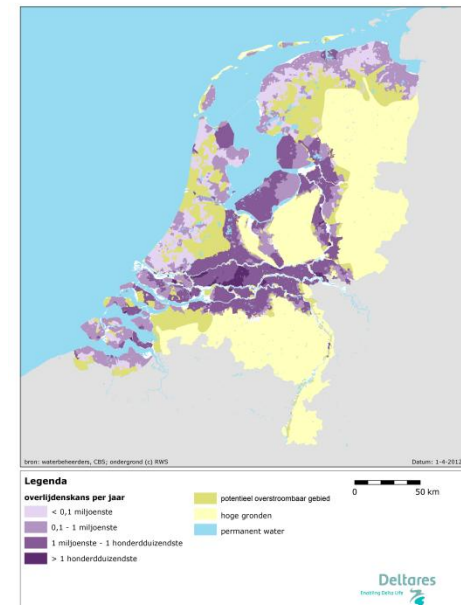
Geschatte overstromingsduur bij overstromingen als gevolg van doorbraken in primaire keringen
Op basis van vuistregels ontwikkeld in kader van EU-RDR



Geschatte overstromingskansen na uitvoering van lopende verbeterprogramma's
Op basis van WV21 2e referentie



Lokaal Individueel Risico per buurt als gevolg van doorbraken in primaire keringen
WV21 2e referentie



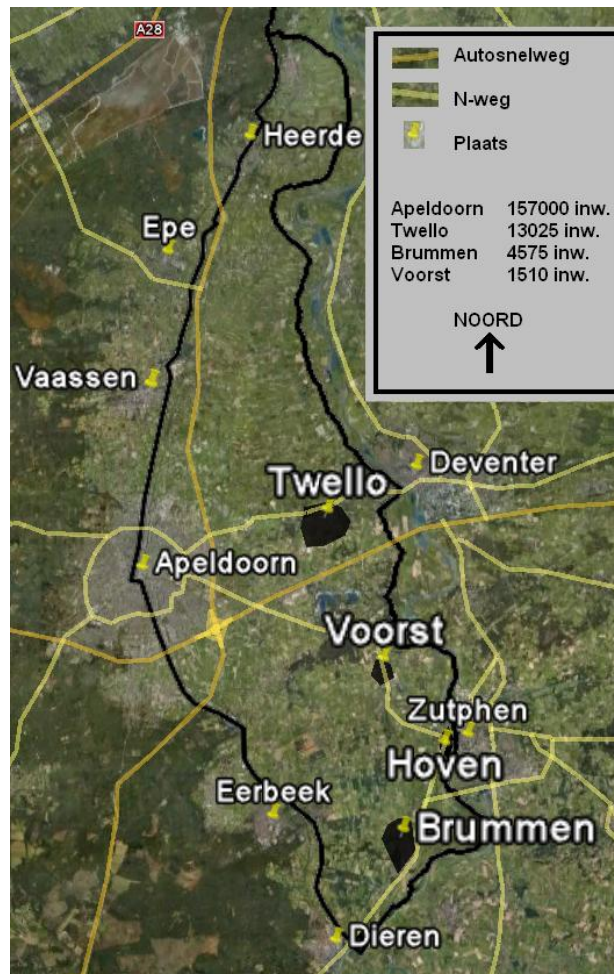
Figuur 1: Gebiedscriteria in Nederland

3.3 *Dijkring 52*

Het gekozen studiegebied is dijkkring 52 (Oost-Veluwe). In deze paragraaf zal besproken worden hoe de algemene- en de waterbouwkundige gebiedskenmerken van het gebied eruitzien. Ook wordt toegelicht op basis waarvan dit gebied is gekozen.

3.3.1 Algemene gebiedskenmerken

Dijkring 52 is een langgerekt gebied aan de westelijke oever van de IJssel. De meest zuidelijke punt ligt ten noorden van Dieren en de meest noordelijke punt ligt ten zuiden van Zwolle, tussen Hattem en Wapenveld. Aan de oostkant wordt het gebied door de IJssel afgebakend. Aan de westkant ligt de grens bij de Veluwe, een hoger gelegen gebied waar dientengevolge nooit overstromingen plaatsvinden. De grens hiervoor ligt ongeveer bij Apeldoorn.



Figuur 2: Omgevingskaart dijkkring 52 (Google Earth, 2013)

Aan de hand van bovenstaande kaart zal een uitleg worden gegeven over wat er allemaal in het gebied aanwezig is. De zwarte lijn is de hierboven beschreven afbakening. Binnen de afbakening vallen de steden Apeldoorn, Twello, Brummen en Voorst. Ook ligt een klein stuk van Zutphen genaamd de Hoven binnen het studiegebied. Hiernaast liggen de A1, de A50 en een aantal N-wegen in het studiegebied. Tot slot ligt de spoorlijn Deventer–Apeldoorn door het gebied met een station in Twello (NS, 2013).

3.3.2 Waterbouwkundige gebiedskenmerken

Het gebied ligt helt naar het noorden toe af. Het gebied is aan het oosten bedijkt en in het westen ligt de Veluwe (ANWB, 2006). Alle dijken zijn ontworpen op een waterstand met een overschrijdingskans van 1/1.250 per jaar. Met het oog op het faalmechanisme piping, wordt de overstromingskans op orde 1/250 per jaar geschat (Van der Doef & Kind, 2012). Omdat water altijd van hoog naar laag stroomt, heeft het hellen van het gebied tot gevolg dat bij een dijkdoorbraak in het zuiden het water naar het noorden zal stromen. Echter zal bij een doorbraak in het noorden het water in de kop van het gebied blijven. Voor de gevolgen van een overstroming is het van belang waar een overstroming plaatsvindt. In het zuiden liggen de dorpen, waardoor de schade en het aantal slachtoffers daar relatief groot zullen zijn ten opzichte van het noorden, ondanks het feit dat de overstromingsdiepte in het noorden veelal hoger is (Thonus & Wolters, 2013).

In Hoofdstuk 6 – Methode staat beschreven hoe de gemiddelde schade in het geval van een overstroming wordt berekend. Ten behoeve van WV21 is berekend dat de schade in het geval van een overstroming in 2050 ongeveer 2 miljard euro bedraagt (Van der Doef & Kind, 2012). Aangenomen dat de overstromingskans 1/250 per jaar is, betekent dit dat het jaarlijkse overstromingsrisico ongeveer 8 miljoen euro per jaar is.

Het lokaal individueel risico (LIR) varieert in de meeste plekken in het gebied tussen de 10^{-5} en 10^{-6} per jaar. Westelijk van Zutphen en oostelijk van Heerde liggen gebieden met een LIR hoger dan 10^{-5} per jaar (zie figuur 3). Dit wordt meestal als een norm aangehouden voor een te hoog LIR. Het aantal slachtoffers is naast het LIR ook afhankelijk van het aantal mensen in een gebied op het moment van een overstroming. Omdat er meer en grotere dorpen in het zuiden van het gebied liggen, is het aantal slachtoffers in het geval van een overstroming hier hoger (Thonus & Wolters, 2013).

3.3.3 Kansen voor meerlaagse veiligheid

Behalve de eerder genoemde gebiedscriteria waar het gebied op geselecteerd is, zijn er nog enkele andere aanwijzingen dat dit gebied interessant is om onderzoek te doen naar maatregelen uit de tweede en derde laag.

Allereerst is er geen casus uitgewerkt langs de IJssel. Dit komt doordat in voorgaande casestudy's gefocust is op gebied met een hoog risico. Dijktringen langs de IJssel hebben minder bebouwing en zodoende een minder groot risico. Dit biedt kansen voor een ander type maatregelen, namelijk de maatregelen met relatief kleine investeringskosten. Hierdoor zal het onderzoek in dit gebied een toevoeging zijn op al bestaande onderzoeken.

Ook is het een zeer langgerekt gebied. Dit houdt in dat er relatief gezien een hele lange dijk ligt ten opzichte van de hoeveelheid land die erachter ligt. Hierdoor moet van een relatief lang gebied worden gezorgd dat de dijk in orde blijft. Hierdoor zullen maatregelen in de eerste beschermingslaag relatief kostbaar zijn ten opzichte van tweede- en derdelaaags maatregelen.

Als dijkkring 52, de westelijke oever van de IJssel, met een minder sterke dijk toe kan, zal het risico op een overstroming aan de oostoever van de IJssel afnemen. Hier liggen grotere plaatsen als Zutphen, Deventer en Zwolle, die wel veel schade oplopen bij een hoog risico. Als de kans op een overstroming bij deze plaatsen afneemt, levert dit een grote risicoverkleining op.

Tot slot ligt het gebied vlak bij de Veluwe, wat een speciale kans biedt voor het crisismanagement. Als inwoners immers een kleine afstand richting de Veluwe gaan, zijn ze al veilig. De preventieve evacuatiefractie zal dus zeer makkelijk stijgen als deze boodschap verkondigd kan worden.

4 Afweging en Criteria

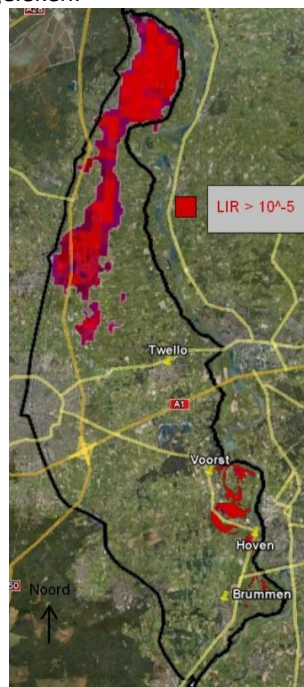
Dit hoofdstuk presenteert welke afwegingsmethoden en welke criteria gebruikt zijn om maatregelstrategieën te toetsen.

4.1 Afweging

Er is gekozen om twee verschillende afwegingsmethoden te gebruiken. Zoals gezegd in Hoofdstuk 1 – Inleiding is de regering op dit moment bezig de nieuwe norm voor waterveiligheid vast te leggen. Hierbij wordt onder meer naar twee visies gekeken waarin meerlaagse veiligheid als alternatief wordt meegerekend.

In de eerste visie wordt gestreefd naar een economisch optimale maatregel. Er zal worden gekeken naar investeringskosten en het risico voor en na de maatregel. Op die manier is gekeken welke maatregel het meest kostenefficiënt het risico verlaagt. Het risico zal inclusief gemonetariseerde slachtoffers worden genomen om de reductie van slachtoffers zo ook mee te wegen.

In de tweede visie wordt ervan uitgegaan dat er een norm komt met betrekking tot het LIR. Deze norm zou inhouden dat er niet op plekken gewoond mag worden waar het LIR groter dan 10^{-5} per jaar is. De natuurlijke ontwikkeling is dat de overstromingskans vanzelf groter wordt doordat hoogwaters in Nederland vaker voorkomen door klimaatverandering. Een vuistregel hiervoor is dat de overstromingskans tot 2050 verdubbelt en tot 2100 nogmaals verdubbelt. Voor dit onderzoek zal een overstromingskans van twee keer zo groot worden gebruikt, dus een twee keer zo groot LIR als in de referentiesituatie. Onderstaande figuur geeft in het rood aan waar het LIR in dit geval groter dan 10^{-5} zou zijn. Voor deze afwegingsmethodiek zijn de kosten voor het verkleinen van het LIR naar een acceptabel niveau voor verschillende maatregelpakketten vergeleken.



Figuur 3: Plekken met een LIR groter dan 10^{-5} per jaar (Google earth, 2013) (Thonus & Wolters, 2013)

4.2 Criteria

Bij het nemen van maatregelen op het gebied van waterveiligheid spelen veel zaken een rol. De maatregelen worden altijd genomen in een omgeving waar mensen wonen en werken. Al deze mensen zullen een mening hebben over de uitgevoerde projecten. Daarom moet er bij het beoordelen van een project naar veel meer gekeken worden dan alleen kostenefficiëntie en het verbeteren van de waterveiligheid. In dit hoofdstuk staat weergegeven met welke criteria rekening is gehouden.

Deze criteria zijn vastgesteld na een interview met een expert en op basis van beperkt literatuuronderzoek. Allereerst zijn op basis van gesprekken met dr. N. Asselman draagvlak, robuustheid en ruimtelijke kwaliteit toegevoegd, omdat deze bij alle waterbouwkundige projecten een rol in de overwegingen zou moeten spelen. Uit 'Ervaringen stappenplan en afwegingskader Meerlaagsveiligheid' (Kolen, 2013) zijn de criteria 'doelmatigheid' en 'afwenteling' toegevoegd.

Alle criteria zijn toegevoegd omdat er binnen korte tijd iets over gezegd kan worden. Binnen de bandbreedte van dit onderzoek valt geen uitgebreide expertmeeting, dus moet met een aantal mensen al snel een inschatting te maken zijn over de verschillende criteria. Hiernaast zijn deze criteria gekozen omdat verwacht wordt dat er verschillen uit komen bij de verschillende maatregelpakketten. Het is immers zinloos een criterium mee te nemen dat bij ieder maatregelpakket hetzelfde scoort, omdat het binnen dit onderzoek gaat om het vergelijken van maatregelpakketten. In vergelijking met het rapport van Kolen is voor minder specifieke criteria gekozen, omdat dit een relatief globaal onderzoek is.

Criterium	Definitie	Kwalitatief/kwantitatief
NCW schaderisico met gemonetariseerde slachtoffers (alleen in afwegingsmethodiek 1)	De NCW van het schaderisico geeft de waarde van datgene wat in waterveiligheid wordt geïnvesteerd én wat jaarlijks aan schade verwacht wordt in een bedrag, verdisconteerd naar wat het nú waard is.	Kwantitatief
Maximale LIR (alleen in afwegingsmethodiek 2)	Het maximale LIR is de grootste kans om te overlijden die in het gebied voorkomt.	Kwantitatief
Draagvlak	Draagvlak geeft de mate weer in hoeverre bewoners en betrokkenen in het gebied positief tegenover de plannen zullen staan.	Kwalitatief
Robuustheid	Robuustheid geeft weer in hoeverre een maatregel in een breed scala aan toekomstscenario's een positief effect zal hebben.	Kwalitatief
Ruimtelijke kwaliteit	Ruimtelijke kwaliteit geeft weer in hoeverre de genomen maatregelen passen in het landschap of dit nog aantrekkelijke kunnen maken.	Kwalitatief
Doelmatigheid	Doelmatigheid geeft weer in hoeverre de maatregel op de plaats met het grootste probleem effect heeft.	Kwalitatief
Afwenteling	Afwenteling geeft weer in hoeverre andere dijkringen een grotere overstromingskans krijgen door de maatregelen in dijkkring 52.	Kwalitatief

Tabel 2: Meegewogen criteria

5 Maatregelen

In dit hoofdstuk is aangegeven welke strategieën zijn uitgewerkt in dit onderzoek en waarom. Eerst wordt per laag van veiligheid aangegeven welke maatregelen er zijn. Hiervan wordt aangegeven welke geschikt lijken om in dit onderzoek als strategie uit te werken. Hieruit volgt een prioritering van de verschillende strategieën. Tot slot worden de strategieën die zijn uitgewerkt in dit onderzoek verder toegelicht.

5.1 *Mogelijke maatregeltypen*

Binnen dit onderzoek worden geen nieuwe risico verminderende maatregeltypen bedacht. Voor de indeling van maatregelen in maatregeltypen is de indeling van de kansrijkdomkaart (Asselman & Slager, 2012) gebruikt. Alle in dit gebied uitvoerbare maatregeltypen zijn hieronder kort toegelicht:

- **Dijkversterking.** Dijkversterking heeft als doel de overstromingskans te verkleinen. Hiertoe wordt de dijk versterkt, bijvoorbeeld door middel van kruinverhoging of de aanleg van een pipingberm.
- **Rivierverruiming.** Rivierverruiming heeft als doel de overstromingskans te verkleinen. Hiertoe wordt meer ruimte gegeven aan de rivier en zo de waterstand verlaagd. Een voorbeeld is bijvoorbeeld het aanleggen van een bypass om het doorstroomoppervlak te vergroten.
- **Deltadijk.** Een deltdijk heeft als doel om de overstromingskans te verkleinen. Hiertoe wordt een hele grote en brede dijk aangelegd. Behalve een enorme verkleining van de overstromingskans kan de dijk ook voor andere doeleinden zoals wonen worden gebruikt.
- **Elders bouwen.** Elders bouwen heeft als doel de schade en het aantal slachtoffers in het geval van een overstroming te beperken. Door nieuwbouw op plaatsen zonder overstromingsgevaar te bouwen, kan schade aan deze nieuwbouw en slachtoffers onder de bewoners van deze nieuwbouw voorkomen worden.
- **Aangepast bouwen.** Aangepast bouwen heeft als doel de schade en slachtoffers in het geval van een overstroming te beperken. Hiertoe worden huizen zo gebouwd dat de gevolgen van een overstroming worden gereduceerd. Een voorbeeld hiervan is het verhoogd aanleggen van nieuwbouwwoningen.
- **Beschermen kritische infrastructuur.** Beschermen kritische infrastructuur heeft als doel de schade van een overstroming te beperken. Hiertoe kunnen bijvoorbeeld gas- en elektravoorzieningen waterdicht worden aangelegd, zodat deze netwerken niet kapot gaan in het geval van een overstroming.
- **Bouwen ter ondersteuning van crisismanagement.** Bouwen ter ondersteuning van crisismanagement heeft als doel het aantal slachtoffers bij een overstroming te beperken. Hiertoe worden bijvoorbeeld extra vluchtroutes aangelegd of vluchtroutes verbreed en uitgebreid.
- **Compartimentering.** Compartimentering heeft als doel de kans op een overstroming in een specifiek gebied te verkleinen. Hiertoe wordt een compartimenteringsdijk aangelegd om een dorp heen of om een dijkkring in twee stukken te splitsen.
- **Verbeteren crisismanagement.** Verbeteren crisismanagement heeft als doel het aantal slachtoffers bij een overstroming te beperken. Hiertoe kan bijvoorbeeld een evacuatieplan worden gemaakt, waarin staat beschreven hoe en wat mensen te adviseren op het moment van een overstromingsdreiging.

Hieronder is per maatregeltipe aangegeven of deze geschikt is voor deze casus. De geschikte maatregelen zijn vervolgens gerangschikt naar in hoeverre het makkelijk een bijdrage aan dit onderzoek kan leveren. Behalve naar de kansrijkdom van de maatregel is bijvoorbeeld ook gekeken naar hoe makkelijk en hoe concreet iets is te kwantificeren. Deze prioritering is de volgorde waarin maatregelen zijn onderzocht om zo binnen de kleine hoeveelheid beschikbare tijd een onderzoek met meerwaarde ten opzichte van het al gedane onderzoek te doen.

Maatregeltype	Geschiktheid	Ranking	Argument
Laag 1			
Dijkversterking	Ja	1	Om te kunnen stellen of een tweede- of derdelaags maatregel geschikt is, moet deze worden vergeleken met eerstelaags maatregelen.
Rivierverruiming	Ja	2	
Deltadijk	Nee	-	Gezien het relatief kleine risico wat in het gebied aanwezig is, is het onwaarschijnlijk dat deze grootschalige maatregelen kostenefficiënt zullen zijn.
Laag 2			
Elders bouwen	Ja	6	Er zijn veel uitbreidings-/bebouwingsplannen in gebieden met een hoog LIR. Hier is een kans voor elders bouwen als strategie.
Aangepast bouwen	Ja	4	Door de gunstige gebiedskenmerken waarop het studiegebied is geselecteerd, zal aangepast bouwen een van de kansrijke maatregelen zijn.
Bescherming kritische infrastructuur	Nee	-	De huidige rekenmethoden zijn onvoldoende ontwikkeld om deze maatregelen te beoordelen op de afname van risico (Kind et al., 2013)
Bouwen ter ondersteuning van crisismanagement	Nee	-	Bouwen is veelal een te kostbare maatregel met het oog op de baten van crisismanagement (Kolen & Terpstra, 2012).
Compartimentering	Ja	5	Compartimentering kan helpen kleine gebieden met veel waarde of een hoog LIR extra te beschermen.
Laag 3			
Verbeteren crisismanagement	Ja	3	Door de nabijheid van hoger gelegen gronden is het studiegebied extra kansrijk met het oog op crisismanagement.

Tabel 3: Prioritering van de verschillende maatregeltypen

5.2 *Verschillende uitgewerkte strategieën*

Hieronder staat van de gekozen strategieën welke maatregelen er worden genomen. De strategieën zijn gekozen op basis van bovenstaande prioritering en de hoeveelheid beschikbare tijd. Er zijn verschillende strategieën gekozen die goed passen bij de twee verschillende afwegingsmethoden. De vier strategieën bij afwegingsmethode 1 zullen zich primair richten op het ontwijken van economische schade, terwijl de drie strategieën voor afwegingsmethode 2 zich zullen richten op het verkleinen van het LIR.

5.2.1 **Strategie 1a: Dijk versterken**

De eerste strategie houdt in dat alle dijken rond het gebied integraal tien keer zo sterk gemaakt worden. Dit houdt in dat de overstromingskans van alle dijken 1/2.500 per jaar zal worden. Om deze dijkversterking te bewerkstelligen zal naast kruinverhoging ook een pipingberm worden aangelegd. Deze pipingberm zorgt ervoor dat de dijk breder wordt, waardoor het risico op het faalmechanisme piping wordt ondervangen.

5.2.2 **Strategie 1b: Bypass Deventer**

Binnen deze strategie zal een bypass bij Deventer worden gerealiseerd. Hierdoor zal de IJssel tot Deventer beter doorstromen en zal de waterstand in dit traject worden verlaagd. Deze verlaagde waterstand heeft een verlaagde overstromingskans van de dijken tot gevolg.

5.2.3 **Strategie 1c: Compartimentering Twello**

In deze tweedelaags strategie zal worden geïnvesteerd in een compartimenteringsdijk om Twello heen. Op het moment dat de primaire kering, de dijkkring, bezwijkt, zal de compartimenteringsdijk ervoor zorgen dat Twello niet overstroomt, waardoor er geen schade en slachtoffers in dit gebied zullen zijn.

5.2.4 **Strategie 1d: Verbeteren crisismanagement**

De laatste onderzochte mogelijkheid is het verbeteren van het crisismanagement. Er worden twee manieren onderzocht om dit te doen, namelijk via een landelijk en een regionaal programma. Beide strategieën hebben als doel om de preventieve evacuatiefractie te verhogen.

Voor het landelijke programma zullen de maatregelen die nu al deels plaatsvinden structureel worden verankerd in de rampenbeheersing. Dit houdt in dat (Kolen & Terpstra, 2012):

- de voorspelmethode voor een hoogwater worden verbeterd.
- er structureel onderzoek, planvorming en professionalisering van evacuatie zal plaatsvinden.
- iedere 10 jaar een Taskforce Management Overstromingen (TMO) plaatsvindt die aanbevelingen doet over het voorbereid zijn op een overstroming (rapport bevindingen TMO).
- er kleine investeringen worden gedaan in regionale risicocommunicatie. Kleine investeringen zijn bijvoorbeeld een campagne om bewoners van een overstroombaar gebied er bewust van te maken dat ze in een overstroombaar gebied wonen.

Deze maatregelen zijn niet alleen vanuit dijkkring 52 te realiseren, omdat het grote nationale investeringen zijn die een effect hebben op het gehele watersysteem.

Voor het regionale programma wordt op de gebiedskarakteristieken van dijkkring 52 ingezet. Dijkkring 52 ligt naast de Veluwe, bestaande uit onoverstroombare gronden. Er zal bij het programma worden ingezet op de bewustwording dat mensen in overstroombaar gebied wonen en wat ze moeten doen in het geval van een overstroming. Hiertoe wordt geadviseerd om naar de Veluwe te gaan op het moment dat er een overstroming dreigt plaats te vinden. Maatregelen die worden genomen om dit te communiceren zijn:

- Jaarlijkse informatievoorzieningscampagne naar mensen die in overstroombare gebieden wonen.
- Voorbereidingen treffen om op het moment van een overstromingsdreiging maximaal in te kunnen zetten op crisiscommunicatie.

5.2.5 Strategie 2a: Dijk versterken

Omdat naar een moment in de toekomst wordt gekeken, wordt in deze afwegingsmethode aangenomen dat de dijken een twee keer zo grote overstromingskans hebben. In de eerste strategie worden alle dijken rond het gebied integraal twee keer zo sterk gemaakt worden. Om deze dijkversterking te bewerkstelligen zal een pipingberm worden aangelegd, die ervoor zorgt dat de dijk breder wordt, waardoor het risico dat de dijk ondergraven wordt door piping wordt ondervangen. Er zal geen kruinverhoging worden toegepast omdat tot een factor 5 opgevangen moet worden door het faalmechanisme piping te bestrijden.

5.2.6 Strategie 2b: Aangepast bouwen bij de Hoven

Voor deze tweedelaags strategie zal de verwachte nieuwbouw in het gebied rond de Hoven verhoogd worden aangelegd. Hiernaast zal de bebouwing rond en in de Hoven die tot 2050 wordt herbouwd ook verhoogd worden aangelegd. De huizen in het gebied met een te hoog LIR rond Hoven die niet herbouwd worden, zullen dryproof gemaakt worden. De dijk zal ten zuiden van Twello niet worden versterkt, dus een overstromingskans houden van 1/250 per jaar. De dijken ten noorden van Twello zullen 10 keer zo sterk worden gemaakt, tot een overstromingskans van 1/2.500 per jaar. Hierdoor wordt het LIR ten Noorden van Twello ook overal lager dan 10^{-5} per jaar

5.2.7 Strategie 2c: Verbeteren crisismanagement

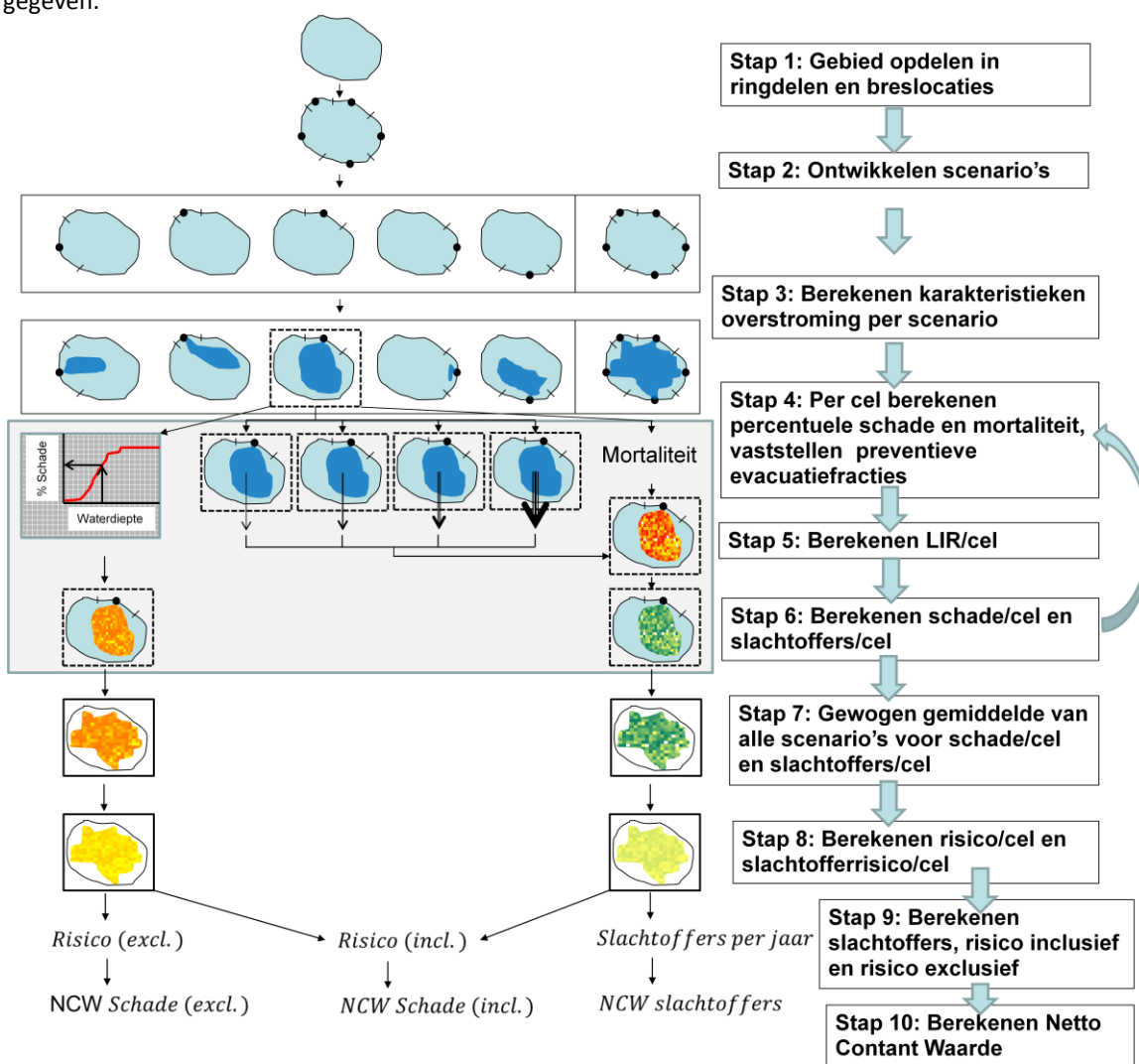
Strategie 2c is identiek aan strategie 1d. Er worden in deze strategie maatregelen genomen om de preventieve evacuatiefractie te verhogen.

6 Methode

Voor iedere strategie zijn de totale kosten berekend, welke bestaan uit het restrisico en de benodigde investeringen om het risico te verminderen (Zethof et al. 2012). Om de strategieën met elkaar te kunnen vergelijken moeten de benodigde investeringen en de risicovermindering ten opzichte van de referentiesituatie worden berekend. In dit hoofdstuk wordt van iedere strategie uitgelegd hoe de investeringen en de risicovermindering zijn berekend.

6.1 Referentiesituatie

De risicovermindering is het verschil tussen het risico in de referentiesituatie en het restrisico wat over is nadat de maatregelen zijn genomen. In de referentiesituatie wordt het huidige veiligheidsniveau, een overstromingskans van 1/250 per jaar, behouden en wordt er niet extra geïnvesteerd in waterveiligheid. Deze paragraaf gaat over hoe het risico in de referentiesituatie is berekend. Onderstaand stroomschema geeft weer hoe dit gebeurt en in de daaropvolgende tekst zal uitleg over de verschillende stappen worden gegeven.



Figuur 4: Berekening schade en slachtoffers referentiesituatie

De 10 stappen zijn door HKV-lijn in water uitgevoerd en ten behoeve van dit onderzoek zijn de uitkomsten hiervan beschikbaar gesteld. De berekening van de gevolgen van de verschillende maatregelpakketten is ten behoeve van dit onderzoek gedaan.

Stap 1. Als startpunt van de berekening wordt de dijkkring verdeeld in een aantal dijkkringdelen. Deze dijkkringdelen worden zo gekozen dat het niet uitmaakt waar binnen een dijkkringdeel de dijk doorbreekt, omdat de gevolgen ongeveer gelijk zijn. Aan ieder ringdeel wordt een breslocatie gekoppeld, welke een overstroming ergens in het ringdeel representeert (De Grave & Baarse, 2011).

Stap 2. Aan iedere breslocatie wordt een overstromingsscenario gekoppeld. Aan ieder scenario wordt een conditionele kans gekoppeld. 60% wordt naar rato van de lengte van het dijkkringdeel toegedeeld aan de verschillende breslocaties. Deze conditionele kans representeert hiermee de kans dat, als er een overstroming in de dijkkring plaatsvindt, deze in dit ringdeel is en dit is zodoende de bijdrage van een scenario aan het overstromingsrisico. 40% van het gewicht is voor rekening van het worstcase-scenario. Dit is zo veel, omdat wanneer een waterstand optreedt die groot genoeg is om op één plaats door te breken, andere plekken in de dijk ook een zeer grote faalkans hebben. Zodoende zal de kans dat een dijk op meerdere plekken doorgaat relatief groot zijn (Zethof et al., 2012).

Stap 3. In deze berekeningsmethodiek hebben van de overstromingskarakteristieken alleen de waterdiepte, stroomsnelheid en stijgsnelheid invloed op de hoeveelheid schade en het aantal slachtoffers. Per scenario is een overstromingsanalyse met SOBEK (Deltares^a, 2013) gedaan om deze karakteristieken te bepalen. Voor het worstcase-scenario wordt op iedere plek met de hoogste waterdiepte en hoogste stroom- en stijgsnelheid gerekend.

Stap 4–6 (schade). Van de overstromingskarakteristieken is alleen de waterdiepte van belang bij het bepalen van de economische schade. In de schade- en slachtoffermodule van HIS/SSM (Deltares^b, 2013) zit per cel opgeslagen wat er allemaal in het gebied aanwezig is en wat de maximale schade aan deze objecten is. Hierbij is te denken aan wegen en woningen, maar ook bijvoorbeeld aan het elektriciteitsnetwerk. Van ieder object is een schadefunctie gedefinieerd in HIS/SSM (Deltares^b, 2013). De schadefunctie geeft het percentage weer van de maximale schade uitgezet tegen de waterdiepte. Voor ieder scenario wordt van alle objecten in een cel het percentage van de maximale schade bij de in SOBEK (Deltares^a, 2013) berekende waterdiepte uitgelezen. Vervolgens worden de waarden van de objecten in de cel vermenigvuldigd met het percentage van de maximale schade en zo wordt een schadebedrag verkregen.

Het verkregen schadebedrag is de hoeveelheid schade aan dingen die fysiek aanwezig zijn in het gebied. Voordat over de economische schade wordt gesproken, worden nog een tweetal correctiefactoren toegepast. Ten eerste wordt bij deze materiële schade 50% opgeteld voor een aantal ondergewaardeerde schadeposten zoals schoonmaakkosten en indirecte effecten. Verder wordt er gecorrigeerd voor de maatschappelijke ontwrichting door de aanwezigheid van getroffen. Getroffenen zijn mensen die het gebied hebben moeten verlaten vanwege de overstroming. Bij gebrek aan gegevens over het aantal getroffen in het MLV-instrumentarium (Thonus, Wolbers, 2013) is het bedrag voor getroffen overgenomen uit de factsheets over de dijkringen die voor WV21 zijn gemaakt en met een economische groei van 1,9% teruggerekend van het jaar 2011 naar het jaar 2006 (Van der Doef & Kind, 2012). Op deze wijze wordt de totale economische schade per cel in dat scenario verkregen.

Stap 4-6 (slachtoffers). Voor de berekening van het aantal slachtoffers per cel zijn twee grootheden van belang, namelijk het aantal mensen in een cel en het LIR. Voor het aantal mensen in een cel wordt het aantal mensen dat in een cel woont gebruikt, waarvan de gegevens in de schade- en slachtoffermodule van HIS/SSM (Deltares^b, 2013) staan. Het LIR is het product van de preventieve evacuatiefractie en de mortaliteit. De preventieve evacuatiefractie is de fractie van het aantal mensen dat voor de overstroming het gebied verlaten heeft. In dit onderzoek is gerekend met een preventieve evacuatiefractie van 75%

(Kolen & Terpstra, 2012). De mortaliteit is een functie van de drie overstromingskarakteristieken (waterdiepte, stroomsnelheid en stijgsnelheid), welke bij stap 3 zijn gekwantificeerd met het overstromingsmodel SOBEK (Deltares^a, 2013).

Door vermenigvuldiging van de preventieve evacuatiefractie en mortaliteit, kan het LIR per cel in dat scenario worden verkregen. Door het LIR te vermenigvuldigen met het aantal inwoners van een cel wordt het aantal slachtoffers per cel verkregen.

Stap 7. De bij stap 6 verkregen economische schade en het aantal slachtoffers per cel gelden voor één overstromingsscenario. Door de gevolgen van ieder scenario met de conditionele kans te vermenigvuldigen en te sommeren voor alle scenario's wordt de gewogen gemiddelde economische schade en aantal slachtoffers voor een overstroming verkregen (Zethof et al., 2012).

Stap 8. Zoals eerder uitgelegd is het risico de kans dat iets gebeurt, vermenigvuldigd met de gevolgen als iets gebeurt. Zodoende moet de economische schade bij een overstroming worden vermenigvuldigd met de kans dat een overstroming optreedt, in dit geval 1/250 per jaar. De uitkomst hiervan is het economische risico per jaar en representeert de economische schade die ieder jaar gemiddeld wordt opgelopen door overstromingen. Op eenzelfde wijze kan het slachtofferrisico per jaar worden berekend, wat het gemiddelde aantal slachtoffers per jaar ten gevolge van overstromingen voorstelt.

Stap 9. In de praktijk wordt er onderscheid gemaakt tussen economisch risico inclusief en exclusief slachtoffers. Via bovenstaande weg wordt het economisch risico exclusief slachtoffers berekend. Om het economisch risico inclusief slachtoffers te berekenen moet het slachtofferrisico worden gemonetariseerd en bij het economisch risico worden opgeteld. Ten behoeve van het monetariseren wordt conform WV21 voor ieder slachtoffer 6.7 miljoen euro gerekend (Van der Doef & Kind, 2012). Door het economisch risico en de slachtoffers voor alle cellen bij elkaar op te tellen wordt het economisch risico en het aantal slachtoffers voor het gehele gebied verkregen.

Stap 10. Om maatregelpakketten te kunnen vergelijken moet worden vergeleken of voor de levensduur van een maatregel het risico kleiner is geworden. Daarvoor worden alle investeringen en risico's teruggerekend naar wat dit bedrag nu waard zou zijn, waarbij rekening wordt gehouden met inflatie en economische groei. Hiertoe wordt de Netto Contante Waarde van de schade berekend, op dezelfde wijze als in Hoofdstuk 2 - Achtergrondinformatie (Sullivan et al. 2009).

In dit project wordt er gekeken naar een tijdshorizon van 75 jaar, een discontovoet van 5% en een economische groei van 2%. De groeifactoren zijn overgenomen van de methodiek van VNK. De 75 jaar is een gemiddelde tussen de waarden die in de WV21-methodiek en de VNK-methodiek is gekozen. VNK werkt met een tijdshorizon van 35 jaar en WV21 werkt met een oneindig lange horizon. 75 jaar lijkt redelijk met het oog op de levensduur van dijkversterkingsmaatregelen (Zethof et al., 2012).

Nadat in stap 2 de scenario's zijn vastgesteld, worden deze in SOBEK (Deltares^a, 2013) doorgerekend om de overstromingskarakteristieken te verkrijgen. Vervolgens worden met de schade- en slachtoffermodule van HIS/SSM (Deltares^b, 2013) de daaropvolgende stappen genomen, zodat de schade, slachtoffers en het risico bekend is. Het MLV-instrumentarium (Thonus & Wolters, 2013) geeft deze resultaten weer en maakt de risico's contant. Hierin zijn een aantal van onderstaande maatregelen doorgerekend. De opslagfactoren waren echter nog niet meegenomen. Dit is met een handmatige nabewerking gedaan.

6.2 Strategie 1a: Dijk versterken

Binnen deze strategie worden alle dijken met eenzelfde factor versterkt, wat leidt tot een risicovermindering. In deze paragraaf zal worden toegelicht hoe deze investeringen en restrisico's zijn berekend.

6.2.1 Restrisico

Er worden bij deze strategie alleen aanpassingen gedaan in de kans dat een overstroming optreedt. Er zullen dus geen nieuwe overstromingssimulaties, schades en slachtoffers worden berekend. In vergelijking met de berekening voor de referentiesituatie zal alleen bij stap 8 in plaats van met een overstromingskans van 1/250 worden vermenigvuldigd met een kleinere kans, waardoor de economische- en slachtofferrisico's kleiner zullen worden. De kans en het risico lopen een op een door in elkaar, dus de versterkingsfactor voor de dijken zal ook de verkleiningsfactor voor het risico zijn. Het MLV-instrumentarium (Thonus & Wolters, 2013) wordt gebruikt om deze berekening te doen om zo ook de nieuwe spreiding van het risico over het gebied te kunnen visualiseren.

6.2.2 Kosten

Voor de kosten zal gebruikgemaakt worden van decimeringshoogtes. Voor ieder dijktraject in Nederland is de decimeringshoogte van het hydraulisch belastingsniveau (HBN) vastgesteld. Deze decimeringshoogte is de verhoging van de hoogwaterwaterstand, waardoor een hoogwaterstand tien keer minder vaak voorkomt. Als een dijk verbeterd wordt, zodat hij 1 decimeringshoogte later bezwijkt, is de overstromingskans tien keer zo klein geworden. Als hij vanaf deze hoogte weer een decimeringshoogte sterker gemaakt wordt, wordt hij weer 10 keer zo sterk. Op deze manier vertienvoudigt de overstromingskans van een dijk bij iedere decimeringshoogte hoger waarop de dijk is gedimensioneerd (De Grave & Baarse, 2011). De algemene formule voor de versterking van de dijk is als volgt:

$$\text{Versterkingsfactor} = \frac{P_{\text{nieuw}}}{P_{\text{oud}}} = \frac{1}{\exp\left[-\frac{\text{verhoging}}{DHW} \cdot \ln(10)\right]}$$

P_{nieuw} = nieuwe kans

P_{oud} = oude kans

DHW = decimeringshoogte

Vergelijking 2: Relatie verhoging dijk en versterkingsfactor (Beckers, 2011)

Afhankelijk van het overheersende faalmechanisme van de dijk kan het versterken van de dijk betekenen dat de dijk verhoogd wordt of dat er een pipingberm wordt aangelegd. De verhoging is dan ook de verhoging van de waterstand die een dijk kan hebben, niet de verhoging van de dijk zelf (De Grave & Baarse, 2011). Als berekend wordt voor hoeveel waterstandstijging een dijk versterkt moet worden om een bepaalde versterkingsfactor te krijgen, wordt een omgeschreven variant van bovenstaande formule gebruikt. Deze staat hieronder weergegeven.

$$\text{verhoging} = \frac{\ln(\text{Versterkingsfactor})}{\ln(10)} \cdot DHW$$

DHW = decimeringshoogte

Vergelijking 3: Relatie versterkingsfactor en verhoging dijk (Beckers, 2011)

In de dijkentool (De Grave, 2011) is voor ieder dijktraject per stap van 10 cm waterstandsverhoging geraamd wat de kosten voor dijkversterking zijn. Hierbij is ervan uitgegaan dat deze kosten bestaan uit een deel vaste kosten en een deel variabele kosten. De vaste kosten zullen als het ware bij 1 cm dijkverhoging al betaald moeten worden, bijvoorbeeld de vervanging van de infrastructuur in de versterkingszone (De Grave en Baarse, 2011). Daarnaast bestaan de vaste kosten uit het op orde brengen van de dijk tot het huidige wettelijke beschermingsniveau. De variabele kosten bestaan uit de kosten voor het verhogen van de kruin van de dijk en het vergroten van de pipingberm.

De kosten worden per dijktraject bepaald door met behulp van vergelijking 2 de waterstandsverhoging bij de gewenste versterkingsfactor te berekenen. Omdat de dijkentool ervan uitgaat dat de kosten voor het aan de wettelijke beschermingsnorm voldoen vaste kosten zijn, moet de gewenste versterkingsfactor met een factor 5 verkleind worden. Dit omdat het verschil tussen de huidige overstromingskans (1/250 per jaar) en de wettelijke overstromingskans (1/1.250 per jaar) automatisch al wordt meegenomen door de dijkentool. Aan de hand van de dijkentool (De Grave, 2011) wordt vervolgens van de bekende waarde erboven en eronder opgezocht wat de kosten voor dijkversterking zouden zijn. Door middel van lineaire interpolatie worden hier vervolgens de kosten bij die specifieke waterstandsverhoging uit gehaald.

6.3 Strategie 1b: Bypass Deventer

De methode bij de strategie 'Bypass Deventer' lijkt sterk op de methode voor dijk versterken. Een belangrijk verschil is het beginpunt van de berekening. Bij 'dijk versterken' wordt een versterkingsfactor gekozen en daaruit volgt hoeveel de dijk verhoogd moet worden. Bij 'Bypass Deventer' ligt het effect van de maatregel in termen van een waterstandsverlaging vast en wordt hieruit een verandering in de faalkans berekend.

6.3.1 Restrisico

Met een bypass wordt niet alleen de totale kans op een overstroming binnen de dijkkring anders, ook de conditionele kans wordt anders. Een bypass heeft immers niet op ieder punt langs de dijkkring hetzelfde effect. Op de plaats van de bypass zal het effect het grootst zijn, stroomopwaarts zal de bypass steeds minder effect hebben en stroomafwaarts van de bypass zal er nauwelijks effect zijn.

Het eerste wat berekend moet worden is de waterstandsvaling ten gevolge van de maatregel. Voor heel veel maatregelen, zo ook de bypass bij Deventer, is ten behoeve van de Blokkendoos (Deltaprogramma Rivieren, 2013) het effect van rivierverruiming op de waterstand berekend met WAQUA (Rijkswaterstaat, 2013). Door op iedere plek in de rivier het verschil tussen de waterstand voor en na aanleg van de bypass te vergelijken, wordt op ieder punt in de rivier de waterstandsvaling door de bypass berekend.

Deze waterstandsvaling wordt met formule 2 op ieder punt in de grafiek omgerekend in een verandering in de faalkans. Deze verandering in de faalkans geeft aan hoeveel kleiner de kans is geworden op dat punt. Vervolgens wordt van ieder dijkkringdeel het gemiddelde van deze verandering in de faalkans berekend, wat de verandering in de faalkans voor dat dijkkringdeel wordt. Door de conditionele kans van het referentiescenario te delen door de versterkingsfactor, wordt de nieuwe conditionele kans voor de bresscenario's verkregen. In het referentiescenario waren de bresscenario's samen goed voor 60% van de totale overstromingskans. De som van de nieuwe conditionele kansen zal kleiner dan deze 60% zijn, als gevolg van het effect van de bypass. De verhouding tussen de nieuwe som van de conditionele kansen en die 60% is de totale verkleining van de overstromingskans voor de hele dijkkring. Het worstcase-scenario wordt zodoende evenredig met de gemiddelde verbetering van de hele dijkkring meegewogen.

Ten opzichte van het referentiescenario moet bij stap 6 dus met andere conditionele kansen de totale schade en het aantal slachtoffers worden berekend. Hierdoor worden de schade en het aantal slachtoffers lager. Dit leidt tot lagere economische- en slachtofferrisico's. Deze berekeningen kunnen met deze versie van de MLV-tool niet correct worden berekend, waardoor de resultaten niet gedifferentieerd over het gebied kunnen worden weergegeven.

In tegenstelling tot andere strategieën heeft deze maatregel effect op beide oevers van de rivier, omdat de waterstand over de hele rivier daalt. Daarom hebben de dijkringen ten oosten van de IJssel ook een risicovermindering door deze maatregel. Deze wordt op dezelfde manier berekend als voor dijkkring 52. Voor dijkkring 50 en 51 wordt naar de totale schade van een dijkkring gekeken. Deze wordt vervolgens verkleind met een verkleiningsfactor op basis van de waterstandsdeling en de fractie van de dijkkring waarvoor deze waterstandsdeling geldt. Voor dijkkring 49 is ervan uitgegaan dat de helft van de dijk wel effect van de bypass voelt en de andere helft niet.

Voor dijkkring 53 geldt dat er voor slechts 8 van de 75,8 km een effect is, vlak naast Deventer. De bres die bij dit traject hoort is een overstroming een paar kilometer ten noorden van Deventer, waardoor er geen schade aan de stad Deventer zelf is. Een van de speerpunten van deze maatregel is het voorkomen van schade aan de stad Deventer, waardoor het niet meenemen van deze schade een vertekend beeld geeft van het effect van deze maatregel. Daarom is gekozen om een extra breslocatie mee te nemen voor de 8 km waar de maatregel effect heeft. Hiervoor is een overstromingssimulatie naast Deventer zelf overgenomen uit een ander project. (Landelijke database voor richtlijn overstromingsrisico's (ROR), 2013)

Van alle bressen aan de westelijke oever is een decimeringshoogte van 40 cm aangenomen. Mede door deze grove afschatting, geeft het resultaat van deze berekening alleen een ordegrootte van het effect van deze bypass.

6.3.2 Kosten

Kosten zijn in 2005 ten behoeve van een vorige versie van de blokkendoos (Rijkswaterstaat, 2013) geraamd. De kosten in de dijkentool zijn zonder BTW, terwijl de kosten in de blokkendoos mét BTW zijn. Er moet dus nog een correctiefactor worden toegepast om de kosten uit de blokkendoos zonder BTW te krijgen.

6.4 *Strategie 1c: Compartimentering Twello*

Binnen deze strategie zal een compartimenteringsdijk om Twello heen worden gelegd. Hierdoor wordt de kans op een overstroming in Twello mogelijk een factor 100 lager.

6.4.1 Restrisico

Door de compartimenteringsdijk wordt de kans op een overstroming binnendijs van deze nieuwe dijk een factor 100 keer zo klein. Dit heeft zowel effect op het aantal slachtoffers als op de hoeveelheid economische schade. Na stap 7 wordt hiertoe een extra berekeningsstap toegevoegd.

Binnen deze berekeningsstap wordt de totale hoeveelheid schade en het aantal slachtoffers van de cellen binnen de compartimenteringsdijk met een factor 100 naar beneden geschaald. Hierdoor worden de schade en het aantal slachtoffers binnen dit gebied zeer klein. Dit effect vertaalt zich, na vermenigvuldiging met de overstromingskansen, een op een in een risicoverlaging. Deze stap is met een simulatie in het MLV-instrumentarium (Thonus & Wolters, 2013) uitgevoerd.

6.4.2 Kosten

Voor de berekening van de kosten worden kostenkentalen (Arcadis, Royal Haskoning & Fugro, 2005) gebruikt. Deze kostenkentalen geven op basis van de hoogte en lengte van de dijk een inschatting wat de dijk zal gaan kosten. Aangenomen is dat de dijk dermate laag zal zijn, dat wegen er gemakkelijk overheen gelegd kunnen worden zonder heel veel extra meerkosten. Daarnaast wordt aangenomen dat de dijk zo weinig ruimte in beslag neemt en zo is geplaatst dat er geen huizen hoeven worden uitgekocht. Hiermee is bij het plaatsen van de dijk rekening gehouden.

Om de hoogte van de compartimenteringsdijk te bepalen wordt gekeken naar de maximale overstromingsdiepte op de plek waar de dijk komt te liggen (Thonus & Wolters, 2013). Hier wordt een gemiddelde waarde van genomen om een inschatting van de kosten te kunnen maken.

6.5 *Strategie 1d: Verbeteren crisismanagement*

In deze strategie wordt ingezet op het verbeteren van het crisismanagement. Er zullen hiertoe allerhande maatregelen worden genomen om de preventieve evacuatiefractie te vergroten en zodoende dus het aantal achterblijvers te verkleinen. De hieruit volgende reductie in slachtoffers zal leiden tot een risicovermindering.

6.5.1 Restriscico

De verhoging van de preventieve evacuatiefractie is gehaald uit het rapport Evacuatieschattingen Nederland en het effect van investeringen (Kolen & Terpstra, 2012). In dit rapport is voor het in deze strategie uitgewerkte pakket van maatregelen het effect afgeschat. Hiernaast wordt met een expert op het gebied van calamiteitenmanagement, ir. Bas Kolen, gesproken om te verifiëren of het effect van deze maatregelen in dit gebied reëel is.

De vergroting van de preventieve evacuatiefractie laat zich direct vertalen in een verkleining van de hoeveelheid achterblijvers. Ditzelfde effect geldt direct ook voor het aantal slachtoffers en het slachtofferrisico.

6.5.2 Kosten

In hetzelfde rapport (Kolen & Terpstra, 2012) zijn ook de landelijke kosten van dit pakket van maatregelen geschat. Deze zullen gekoppeld moeten worden aan alleen deze regio. Hiervoor zal een bovengrens, een beste schatting en een ondergrens worden gekozen en in alle gevallen worden gekeken hoe kostenefficiënt deze maatregel is. Als bovengrens zal worden gekeken wat er gebeurt als de kosten evenredig over de dijkringen verdeeld worden. Omdat er relatief weinig mensen in dijkkring 52 wonen zal dit een overschatting van de kosten zijn. Als ondergrens zullen de kosten evenredig over de inwoners van Nederland worden gespreid. Dit zal een onderschatting zijn, omdat niet iedere Nederlander in een overstroombaar gebied woont. De beste inschatting wordt gemaakt door de kosten gelijkelijk te verdelen over de inwoners van Nederland die in overstroombare gebieden wonen. Hierna zal met een MLV-expert gekeken worden of dezelfde bandbreedte voor kosten ook voor het regionale maatregelenpakket op zouden gaan.

6.6 *Strategie 2a: Dijken versterken*

In deze strategie wordt de gehele dijk met een factor twee versterkt. Hiermee halveert de overstromingskans en halveert zodoende ook het LIR en wordt voldaan worden aan de taakstelling. De rekenwijze voor het effect van de maatregel is hetzelfde als bij strategie 1a. De kosten worden daarentegen iets anders berekend.

6.6.1 Kosten

De kosten kunnen niet uit de dijkentool worden gehaald, zoals bij strategie 1a is gebeurd, omdat de dijkentool ervan uitgaat dat de dijk eerst op orde wordt gemaakt, zodat hij aan de huidige norm voldoet. De huidige norm is gesteld op 1/1.250 per jaar, terwijl de overstromingskans op dit moment geschat wordt op 1/250. Dit is een gevolg van de nieuwe inzichten met betrekking tot het faalmechanisme piping. Dientengevolge staan de kosten voor dijkversterkingen tot een factor 5 niet in de dijkentool (De Grave, 2011) weergegeven.

Ten behoeve van het kostenrapport van WV21 (De Grave & Baarse, 2011) is voor ieder dijkringdeel een interpolatiefunctie geplot die de kosten uit de dijkentool kan extrapoleren naar het huidige beschermingsniveau. Deze functie ziet er als volgt uit, aangenomen dat er geen eerdere dijkverhogingen zijn:

$$I(u) = (C + b \cdot u)e^{\lambda u}$$

met daarin:

I = investeringskosten (€)

u = verhoging van de waterstand (cm)

b = kosten per cm verhoging (€/cm)

C = vaste kosten (€)

λ = schaalparameter van dijkverhoging (1/cm)

Vergelijking 4: Kostenfunctie voor dijkverhoging (De Grave & Baarse, 2011)

De kosten per cm verhoging, vaste kosten en schaalparameters zijn voor ieder dijktraject ten behoeve van het eerder genoemde kostenrapport vastgesteld. Hiermee is een relatie tussen de investeringskosten en de waterstandsverhoging gevonden. De waterstandsverhoging wordt met behulp van relatie 2 direct uit de versterkingsfactor en de decimeringshoogte van een dijkvak verkregen.

6.7 Strategie 2b: Aangepast bouwen bij de Hoven

Binnen deze strategie wordt de bewoning rond de Hoven verhoogd aangelegd. Daarnaast wordt de bewoning die niet wordt herbouwd dryproof gemaakt. Daarnaast wordt de overstromingskans voor dijken boven Deventer met een factor 10 verkleind.

6.7.1 LIR-vermindering

Alle huizen in de buurt van de Hoven die nu in het gebied staan met een te hoog LIR, worden tot 2 meter waterdiepte waterdicht gemaakt door integraal op te hogen, dan wel door de huizen dryproof te maken. Zodoende is gezorgd dat rond de Hoven niemand meer woont op een plaats met een te hoog LIR.

Ten behoeve van het te hoge LIR in het noorden wordt aangenomen dat iedere bres even zwaar meeweegt in het LIR op deze plaatsen. De kans heeft een een-op-eenrelatie met het LIR. Door van ieder scenario de conditionele kans met de verkleiningsfactor te vermenigvuldigen en dit te sommeren, wordt de verkleiningsfactor op het LIR berekend. In werkelijkheid zullen de bresscenario's in het noorden een groter effect op het LIR hebben, omdat uit de simulaties blijkt dat de waterdieptes vanuit deze bressen groter zijn. Als op deze manier het LIR met de maatregel wordt berekend zal het effect dus onderschat worden. De verkleiningsfactor voor het LIR zal dus in werkelijkheid groter zijn. Als deze factor nu groter is dan 2, zal de daadwerkelijke verkleining groter zijn dan 2 en zal in ieder geval aan het gestelde doel worden voldaan voor het noorden.

6.7.2 Kosten

Er zijn drie kostenposten binnen deze strategie:

- **Dijkverhoging in het noorden.** Deze kosten zullen op dezelfde wijze berekend worden als bij strategie 2a. Dit had ook met de dijkentool gekund, maar met het oog op consistentie binnen elke afwegingsmethode is gekozen de kostenfunctie te gebruiken.
- **Verhoogd bouwen van de nieuwbouw en de huizen die herbouwd worden.** In Proeve Plangebied Deltaprogramma Rivieren (Kind, 2013) wordt in bijlage D beschreven dat de kosten € 7.000,- per woning zijn. Voor het aantal huizen wordt aangenomen dat 80% van het huidige aantal huizen wordt herbouwd. Dit lijkt een redelijke aanname, omdat een veelgebruikte vuistregel is dat ieder huis elke 50 jaar wordt herbouwd. Hier bovenop wordt aangenomen dat er 10% extra nieuwbouwhuizen zullen komen, wat overeenkomt met de trend in deze regio (De Jong & van Agtmaal-Woma, 2008).
- **Dryproof bouwen van huidige woningen.** De overige 20% van de huidige woningvoorraad wordt dryproof gemaakt. Hiervoor zijn de kosten overgenomen uit de Proeve Plangebied Deltaprogramma Rivieren (Kind et al., 2013). Hierin worden in principe de kosten voor nieuwbouw in plaats van al bestaande woningen gegeven, maar ingeschat wordt dat deze kosten elkaar niet zo veel zullen ontlopen. De kosten voor het dryproof maken van een woning bedragen € 20.500,-.

6.8 Strategie 2c: Verbeteren crisismanagement

In deze strategie wordt aangenomen dat landelijk wordt ingezet op het verbeteren van het crisismanagement. Er zullen hiertoe allerhande maatregelen worden genomen om de preventieve evacuatiefractie te vergroten en zodoende dus het aantal achterblijvers te verkleinen.

6.8.1 LIR-vermindering

De verhoging van de preventieve evacuatiefractie wordt op dezelfde wijze bepaald als bij strategie 1d. De vergroting van de preventieve evacuatiefractie laat zich direct vertalen in een verkleining van de hoeveelheid achterblijvers. Ditzelfde effect geldt direct voor het LIR.

6.8.2 Kosten

De kosten worden op dezelfde wijze geraamd als bij strategie 1d.

6.9 Overige criteria

De overige criteria zijn alleen kwalitatief te bepalen. Omdat de onderzochte strategieën zijn ontwikkeld voor deze casus is het lastig om gegevens uit literatuur te halen. Er is gekozen om naast een eigen inschatting in te zetten op de inschatting van enkele experts om de verschillende criteria te scoren. Voor dit scoren is gekozen om ieder criterium een ++, +, 0, - of -- te geven.

Allereerst is de definitie voor ieder criterium vastgesteld aan de hand waarvan door de onderzoeker gescoord wordt op de verschillende criteria. Hierna is voor iedere maatregel bedacht hoe deze maatregel zou scoren ten opzichte van andere maatregelen binnen de afwegingsmethodiek. Dit is vervolgens opgestuurd naar de begeleider van dit onderzoek vanuit Deltares, dr. N. Asselman. Zij geeft aan waar en waarom zij andere scores zou geven. Op basis van onze argumentaties is uiteindelijk een definitieve score gegeven.

7 Resultaat

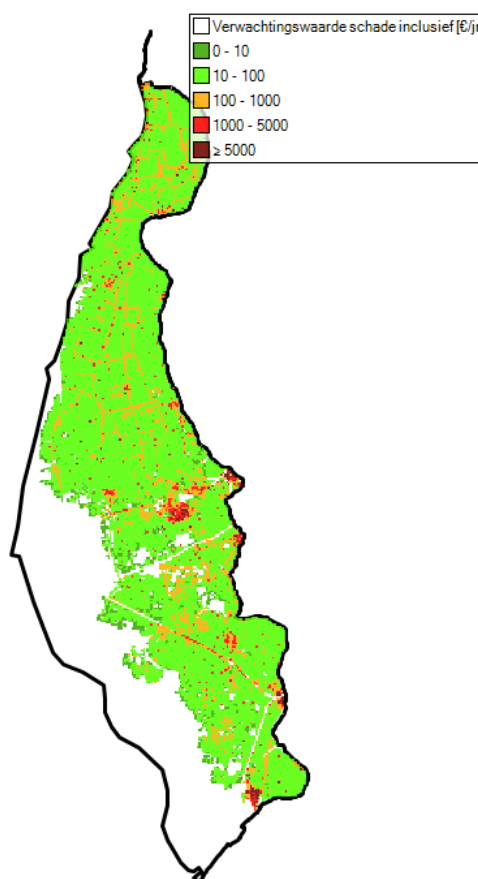
In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de berekeningen uit Hoofdstuk 6 – Methode gepresenteerd. In de volgende paragrafen zullen deze resultaten de basis vormen voor aanbevelingen en conclusies.

7.1 *Referentiesituatie*

In de referentiesituatie worden er geen maatregelen getroffen om het LIR te verkleinen of het economisch risico te beperken. Ten behoeve van afwegingsstrategie 1 moet worden gekeken naar het risico en ten behoeve van afwegingsstrategie 2 naar het LIR. Beide zullen hieronder kort besproken worden.

7.1.1 Economisch risico

Hieronder is te zien hoe het jaarlijkse risico over het studiegebied is verdeeld. Duidelijk zijn de dorpen en de wegen in het gebied te onderscheiden. Deze gebieden hebben de meeste waarde, dus daar zal ook de meeste schade optreden.



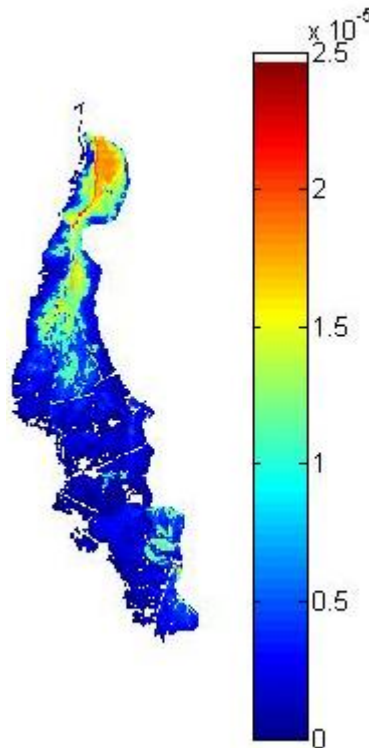
Figuur 5: Schade inclusief slachtoffers – referentiesituatie (Thonus & Wolters, 2013)

De totale waarde van het economische risico is de som van alle hierboven gekleurde delen. Dit levert een totaalbedrag van 3,8 miljoen euro per jaar op. Om het economische risico te verkrijgen moet hierbij nog een opslagfactor 1,5 voor schadeposten die niet of ondergewaardeerd in het HIS/SSM zitten (Deltares^b, 2013), en een bedrag voor getroffen en opgeteld, wat tot een economisch risico van 6,7 miljoen euro per jaar leidt. Hiernaast is het slachtofferrisico 0,06 slachtoffers per jaar, wat tot een economisch

risico inclusief slachtoffers van 7,1 miljoen euro per jaar leidt. Contant gemaakt over 75 jaar, komt de Netto Contante Waarde van het restrisico inclusief slachtoffers op 211 miljoen euro. Omdat er geen investeringen worden gedaan, is dit ook de totale Netto Contante Waarde.

7.1.2 LIR

Met het oog op het LIR wordt ten behoeve van afwegingsmethode 2 naar een moment in de toekomst gekeken dat de overstromingskans een factor 2 groter is. Hiernaast wordt in de referentiesituatie ervan uitgegaan dat er geen maatregelen worden genomen om dit te verbeteren. Dit houdt in dat ervan wordt uitgegaan dat het LIR ten opzichte van de huidige situatie een factor 2 groter zal worden. Onderstaande grafiek geeft het LIR in deze situatie, waarbij een LIR-waarde groter dan 10^{-5} per jaar als problematisch wordt gezien.



Figuur 6: LIR in referentiescenario

7.2 Strategie 1a: Dijk versterken

7.2.1 Restriscio

Omdat de kans en het risico een op een met elkaar verbonden zijn, zal het risico met een factor 10 verminderen, omdat de dijk 1 decimeringshoogte wordt verhoogd. Dit levert de volgende restriscio's op:

	Referentiescenario	Strategie 1a
Economische schade	6,7 miljoen euro	0,67 miljoen euro
Economische schade (incl. slachtoffers)	7,1 miljoen euro	0,71 miljoen euro
Netto Contante Waarde restriscio	211 miljoen euro	21,1 miljoen euro

Tabel 4: Restriscio bij strategie 1a

7.2.2 Investeringskosten

Om de investeringskosten voor het tien keer sterker maken van een dijk te berekenen, is uit de dijkentool de kosten voor het verdubbelen van de sterkte gehaald. Dit omdat de dijkentool automatisch een factor vijf in acht neemt om de dijk aan de wettelijke eis te laten voldoen. De versterkingsfactor wordt dus, conform formule 2, als volgt berekend:

$$Verhoging = \frac{\ln 2}{\ln 10} \cdot DHW$$

Vergelijking 5: Verhoging dijk voor het twee keer versterken van de dijk

In het gebied is één dijktraject met een decimeringshoogte van 44 cm en tien dijktrajecten met een decimeringshoogte van 39 cm (De Grave, 2011). Volgens bovenstaande relatie zal de verhoging van de waterstand 13 cm voor het eerste dijkvak en 12 cm voor de overige dijkvakken zijn. Er moet dus geïnterpoleerd worden tussen de kosten voor 10 cm en 20 cm dijkverhoging. Voor het eerste dijkvak worden de kosten hiervoor dan als volgt berekend:

Verhoging waterstand dijktraject 52-1-1-A-1-A	13 cm
Kosten verhogen 10 cm dijktraject 52-1-1-A-1-A	5,47 miljoen euro
Kosten verhogen 20 cm dijktraject 52-1-1-A-1-A	5,76 miljoen euro
Kosten verhogen dijktraject 52-1-1-A-1-A	5,56 miljoen euro

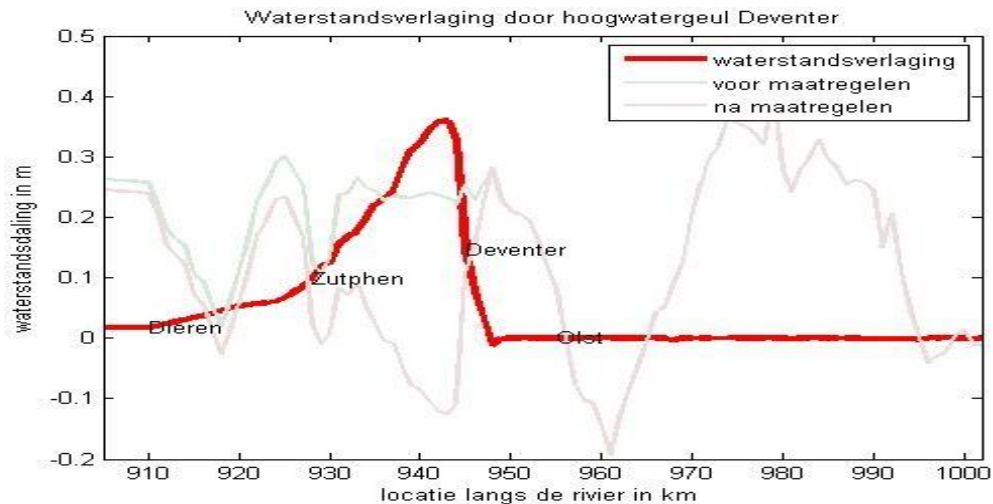
Tabel 5: Voorbeeldberekening kosten dijkversterking

Door de kosten van alle dijkvakken te sommeren, kom je op een totale investering van 211 miljoen euro om de dijk zo te versterken dat de overstromingskans tien keer zo klein is.

7.3 Strategie 1b: Bypass Deventer

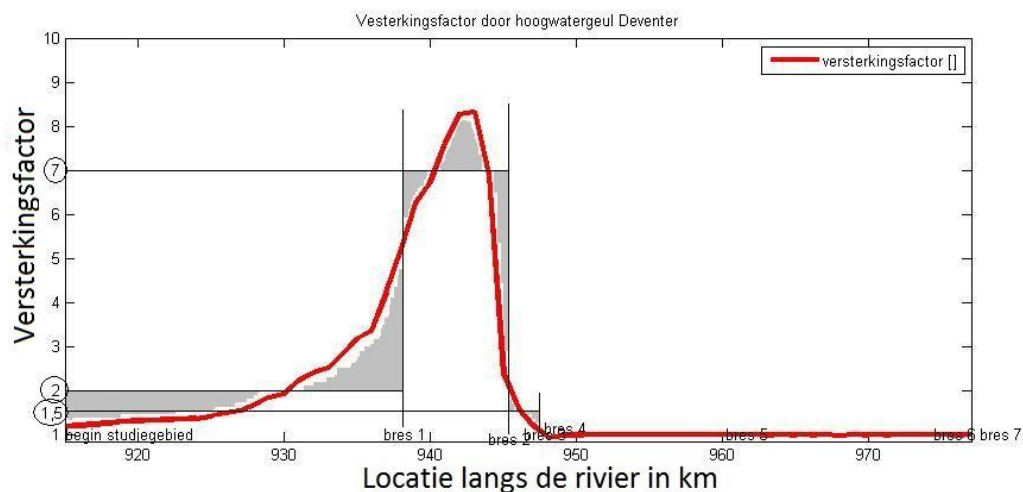
7.3.1 Restriscico

Uit de Blokkendoos (Deltaprogramma Rivieren, 2013) is het effect van het aanleggen van de bypass bij Deventer gehaald. Dit is gedaan door de waterstand vóór en na de maatregel te vergelijken met een bepaalde referentiehoogte (de hoogte is zodoende níet de daadwerkelijke waterhoogte). Het verschil hiertussen is het effect van de maatregel. In de grafiek hieronder staan hier de resultaten van.



Figuur 7: Waterstandsverlaging door bypass Deventer

Met behulp van formule 2 en de decimeringshoogte per breslocatie is de verandering in de faalkans op iedere locatie in de rivier verkregen. Door dit te middelen per bres is de verandering in de faalkans per bres verkregen. Hieronder is te zien dat de eerste bres een versterkingsfactor 2 heeft, de tweede bres een versterkingsfactor 7 en de derde bres een versterkingsfactor 1,5.



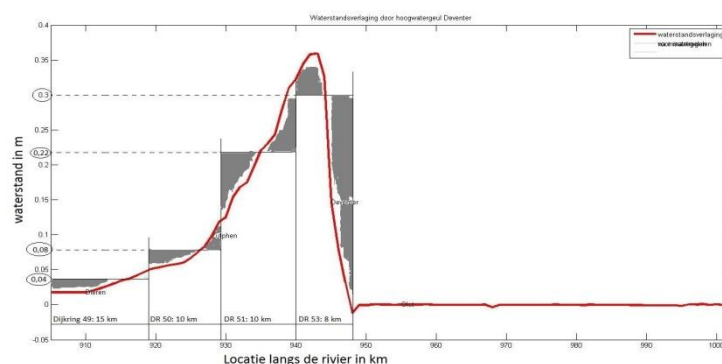
Figuur 8: Versterkingsfactor door bypass Deventer

De conditionele kansen worden vermenigvuldigd met de versterkingsfactor per bres. Aan de hand hiervan kunnen de nieuwe effecten per bres en zodoende de nieuwe risico's worden berekend. Dit geeft voor dijkkring 52 de volgende risico's:

	Referentiescenario	Strategie 1b
Economische schade	6,7 miljoen euro	4,6 miljoen euro
Economische schade (incl. slachtoffers)	7,1 miljoen euro	4,8 miljoen euro
Netto Contante Waarde restrisico	211 miljoen euro	144 miljoen euro

Tabel 6: Restrisico bij strategie 1b

Tevens is een inschatting gemaakt van de risicoreductie aan de andere rivieroever. Hiertoe is de waterstandsverlaging per dijkkring aan de andere rivieroever bekeken. Dit houdt in dat voor de helft van dijkkring 49 de waterstand met 4 cm daalt, voor dijkkring 50 met 8 cm, voor dijkkring 51 met 22 cm en voor de bres bij Deventer van dijkkring 53 met 30 cm.



Figuur 9: Waterstandsverlaging aan oostoever door bypass Deventer

Door deze waterstandsverlaging in een versterkingsfactor om te rekenen met formule 1 kan de schadereductie aan de oostkant worden geschat. Dit leidt tot een contante waarde van de totale schadereductie in west én oost van 193 miljoen euro.

In werkelijkheid zorgt een lagere waterstand er niet alleen voor dat de kans op een overstroming kleiner is, maar de gevolgen ook. Doordat de waterstand minder hoog is, stroomt er minder en minder snel water het gebied in, wat een positief effect heeft op de gevolgen. Globaal zal de ordegrootte van een de vermindering van de schade van een overstroming 10-20% zijn. Dit effect is in dit onderzoek niet meegenomen.

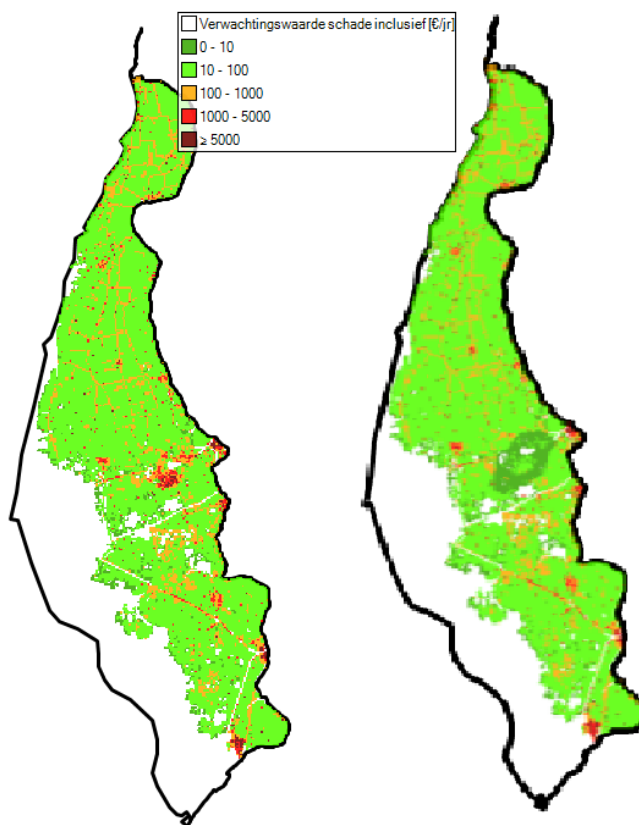
7.3.2 Investeringskosten

De investeringskosten voor de bypass bij Deventer zijn ten behoeve van de Blokkendoos in 2005 afgeschat op 360 miljoen euro. Na correctie voor de 21% belasting die hier nog op zit, blijven er nog 298 miljoen euro aan kosten over. Deze kosten zijn verdeeld in een deel dat voor rekening van de westkant en een deel dat voor rekening van de oostkant komt, naar rato van de verdeling van de baten. Dit in ogenschouw genomen, komt 103 miljoen euro aan kosten voor rekening van dijkkring 52.

7.4 Strategie 1c: Compartimentering Twello

7.4.1 Restrisiko

Door het compartimenteren van Twello zal de schade binnendijs van de compartimenteringsdijk een factor 100 kleiner worden. In de verdeling hieronder is te zien dat de schade buitendijs van de compartimenteringsdijk gelijk is aan de referentiesituatie, terwijl de schade binnendijs veel lager is.



Figuur 10: Verschil in schadekaart tussen (links) de referentie en (rechts) de situatie met compartimentering van Twello (Thonus & Wolters, 2013)

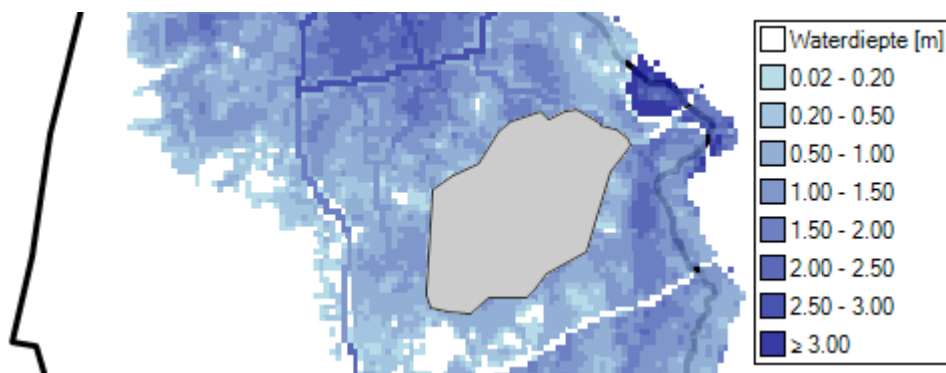
Doordat de schade lager wordt, worden ook alle risico's lager. De volgende restrisiko's kunnen aan deze strategie worden gekoppeld:

	Referentiescenario	Strategie 1d
Economische schade	6,7 miljoen euro	5,7 miljoen euro
Economische schade (incl. slachtoffers)	7,1 miljoen euro	6,1 miljoen euro
Netto Contante Waarde restrisiko	211 miljoen euro	181 miljoen euro

Tabel 7: Restrisiko bij strategie 1c

7.4.2 Investeringskosten

In onderstaande figuur is te zien hoe groot de waterdiepte aan de rand van de compartimenteringsdijk zal zijn. Te zien is dat het water meestal in de categorie tussen 1 en 1,5 meter water komt te staan. Daarom is gekozen een compartimenteringsdijk van 1,5 meter hoogte te maken.



Figuur 11: Waterdiepte rond compartimentering Twello

Een groene dijk van twee meter hoogte kost € 1.050,- per strekkende meter. Voor een dijk met een hoogte van een meter mag volgens de interpolatietabel een factor 0,66 worden gerekend. Zodoende kost de compartimenteringsdijk € 700,- per strekkende meter. De lengte van de dijk is 12 kilometer. Zodoende komen de totale investeringskosten voor deze compartimenteringsdijk op 8 miljoen euro (Arcadis, Royal Haskoning & Fugro, 2005).

7.5 Strategie 1d: Verbeteren crisismanagement

7.5.1 Restrisiko

Met een landelijk pakket van maatregelen is ten behoeve van het rapport Evacuatieschattingen Nederland en het effect van investeringen (Kolen & Terpstra, 2012) de stijging van de preventieve evacuatiefractie geschat op 11%, van 73% naar 84%.

Door methodeverschillen wordt in het referentiescenario gerekend met een evacuatiefractie van 75%. In een gesprek met ir. B. Kolen is aangegeven dat een stijging van de evacuatiefractie naar 85% een reële stijging is door te investeren in crisismanagement, zowel voor het regionale als voor het nationale pakket.

Deze stijging van de evacuatiefractie laat zich aan de hand van het aantal achterblijvers direct vertalen in een daling van het aantal slachtoffers van 40%. Deze vermindering van het aantal slachtoffers leidt tot de volgende risico's:

	Referentiescenario	Strategie 1d
Economische schade	6,7 miljoen euro	6,7 miljoen euro
Economische schade (incl. slachtoffers)	7,1 miljoen euro	7,0 miljoen euro
Netto Contante Waarde restrisiko	211 miljoen euro	207 miljoen euro

Tabel 8: Restrisiko bij strategie 1d

7.5.2 Investeringskosten

De totale investeringskosten voor het landelijke pakket van maatregelen zijn 93 miljoen euro. Deze kosten moeten nog verdeeld worden, zodat een fractie hiervan voor rekening van dijkkring 52 komt. Hiervoor zijn drie verdeelsleutels onderzocht, die tezamen de beste schatting, ondergrens en bovengrens vormen.

In het geval van de bovengrens worden de kosten evenredig over alle dijkringen verdeeld. Er zijn 98 dijkringen in Nederland (NIFV, 2013). De kosten voor dijkkring 52 zouden zodoende op 950.000 euro uitkomen.

In het geval van de ondergrens en de best guess is dit op basis van het aantal inwoners per gebied. Het aantal inwoners is op basis van inwoners van de gemeente Voorst, Brummen en Heerde geschat op ongeveer 35.000 inwoners in dijkkring 52 (Gemeente Brummen, 2013) (Gemeente Voorst, 2013) (Gemeente Heerde, 2013).

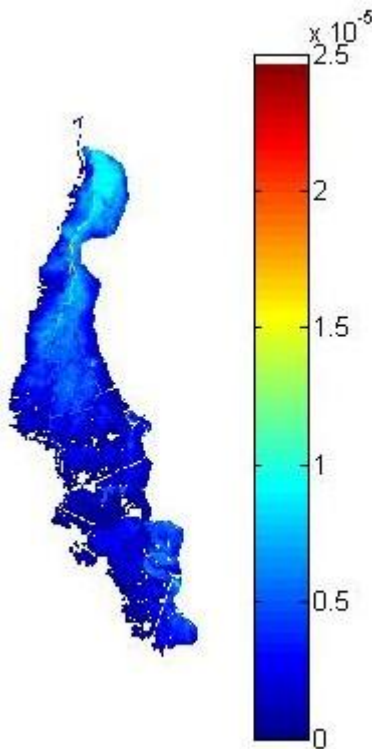
In het geval van de ondergrens worden de kosten evenredig over alle Nederlanders verdeeld. Op basis van 17 miljoen Nederlanders, zouden de kosten voor dijkkring 52 dan op 190.000 euro komen. Voor de best guess worden de kosten verdeeld over alle Nederlanders in overstroombare gebieden, wat zou neerkomen op 460.000 euro (Zanting & Noordam, 2008).

Dezelfde bandbreedte is aangehouden voor het regionale pakket van maatregelen.

7.6 Strategie 2a: Dijk versterken

7.6.1 LIR verbetering

Doordat de overstromingskans op alle plaatsen twee keer zo klein wordt, wordt ook het risico om te overlijden overal twee keer zo klein. Hierdoor zal het LIR nagenoeg overal kleiner dan 10^{-5} per jaar worden. De plekken waar dit niet het geval is, is daar waar nu al diepe sloten liggen, waardoor de waterdiepte daar diep wordt. Op deze plekken staat geen bebouwing, dus dat is geen probleem.



Figuur 12: LIR met strategie 2a

7.6.2 Investeringskosten

De benodigde waterstandsverhoging wordt op dezelfde wijze bepaald als bij strategie 1a. Verder zijn de vaste kosten, de kosten per cm verhoging en de schaalparameters van alle dijkkringdelen gegeven in het kostenrapport van WV21 (De Grave & Baarse, 2011). Aan de hand van relatie 3 is berekend dat de investeringskosten voor het tweemaal veiliger maken van de hele dijkkring 161 miljoen euro bedragen.

7.7 Strategie 2b: Aangepast bouwen rond de Hoven

7.7.1 LIR verbetering

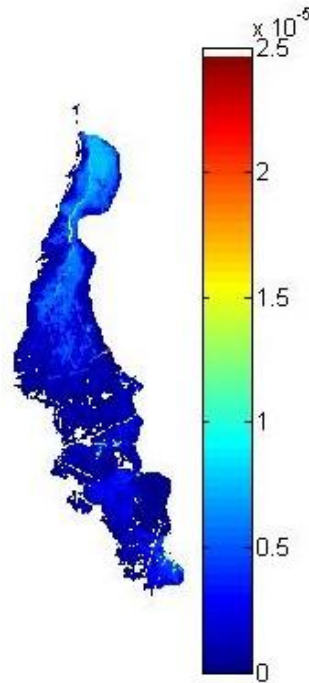
De verbetering van het LIR ten gevolge van de dijkversterking ten noorden van Deventer wordt berekend door van alle bressscenario's het effect en de conditionele kans te vermenigvuldigen en dit te sommeren. Dijkkringdeel Cortenoever (conditionele kans van 34,9%) ligt ten zuiden van Deventer en wordt niet versterkt. De overige dijkkringdelen worden een factor 10 sterker, dus het LIR wordt tien keer zo klein. Het effect op het LIR wordt dus als volgt berekend:

$$\text{Effect op LIR} = \sum \text{effect} \cdot \text{conditionele kans} = 1 \cdot 34,9\% + 0,1 \cdot 65,1\% = 0,41$$

Vergelijking 6: Berekening effect gedeeltelijk dijkversterken op het LIR

Dit levert een verkleining van het LIR van ruim 2 op, waardoor het gebied aan de gestelde norm zal voldoen.

In de buurt van de Hoven wordt op alle plekken waar het LIR groter is dan 10^{-5} per jaar verhoogd gebouwd, waardoor het LIR 0 zal worden. Er wordt immers zo hoog gebouwd dat er geen water meer komt te staan en dryproof bouwen heeft eenzelfde effect. Dit en bovenstaande verbeteringsfactor leveren de volgende verdeling van het LIR over het gebied op.



Figuur 13: LIR na uitvoer strategie 2b

7.7.2 Investeringskosten

Voor de bepaling van de kosten voor dijkverhoging is dezelfde methode als bij strategie 2a gebruikt. De benodigde waterstandsverhoging wordt met de decimeringshoogte en de methode van strategie 1a vastgesteld. De overige parameters worden overgenomen van strategie 2a. Dit tezamen levert een benodigde investering van 121 miljoen euro op.

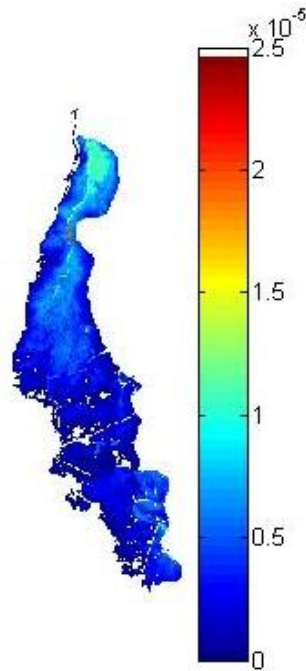
Voor de berekening van de kosten voor het verhoogd bouwen en dryproof maken van huizen is het aantal huizen dat op dit moment in het gebied staat van belang. Er zijn in het gebied rond de Hoven waar eventueel een te hoog LIR is drie gebieden met bebouwing. In de Hoven zelf zijn 8.700 inwoners (gemeente Zutphen, 2012), helemaal in het noorden in Voorsterklein wonen 60 mensen en iets ten westen, in Empe, staan 250 woningen (gemeente Brummen, 2013). Uitgaande van het landelijk gemiddelde van 2,2 inwoners per woning, wordt de huidige hoeveelheid woningen op 4.234 geschat. Het aantal nieuwbouwwoningen wordt op 10% hiervan geschat, dus 423 woningen.

Het aantal woningen dat verhoogd moet worden aangelegd is 80% van de huidige woningvoorraad en alle nieuwbouwwoningen. De kosten hiervoor zijn € 7.000,- per woning. De overige 20% van de woningen moet vóór 2050 dryproof worden gemaakt. Hiermee kom je op een totale extra investering van 44 miljoen euro voor het aangepast bouwen van de huizen in en rond de Hoven (De Grave & Baarse, 2011). De totale investeringskosten voor deze strategie, met dijkversterking én aangepast bouwen, zullen dus 165 miljoen euro bedragen.

7.8 *Strategie 2c: Verbeteren crisismanagement*

7.8.1 LIR verbetering

De preventieve evacuatiefractie zal, evenals bij strategie 1d, van 75% naar 85% stijgen. Het aantal achterblijvers daalt zodoende van 25% naar 15% (Kolen & Terpstra, 2012). Het LIR verkleint met dezelfde factor als waarmee het aantal achterblijvers verkleint. De verbeteringsfactor zal zodoende een factor 1,7 zijn. Bij afwegingsmethodiek 2 wordt ervan uitgegaan dat het LIR met een factor 2 zal vergroten ten opzichte van de huidige situatie. Derhalve zal door het toepassen van deze strategie het LIR met een factor 1,2 verslechteren ten opzichte van de huidige situatie. Hieronder staat weergegeven hoe het LIR er in deze situatie uit zal komen te zien.



Figuur 14: LIR na uitvoer strategie 2c

7.8.2 Investeringskosten

Voor deze strategie gelden dezelfde investeringskosten als voor strategie 1d. De kosten zullen zodoende binnen een bandbreedte van 190.000 en 950.000 euro vallen.

7.9 Overige criteria

Hieronder is van ieder van de in Hoofdstuk 4 – Afweging en Criteria beschreven criteria aangegeven hoe de verschillende strategieën zich tot elkaar verhouden.

7.9.1 Draagvlak

Voor het criterium draagvlak is gescoord in hoeverre er maatschappelijk draagvlak voor een bepaalde maatregel zal zijn.

	Score	Argumentatie
Strategie 1a: Dijk versterken	+	De dijk ligt er al en betrokkenen zijn hieraan gewend. Maatregelen aan deze dijk zullen niet als heel bijzonder worden ervaren.
Strategie 1b: Bypass Deventer	--	Voor de bypass bij Deventer moet grond worden gebruikt die anders gebruikt kan worden. Bewoners en bestuurders zullen hier liever huizen of voorzieningen zien.
Strategie 1c: Compartimentering Twello	-	Doordat er een nieuwe dijk aangelegd zal worden, zullen mensen die nu een weids landelijk uitzicht hebben na de maatregel tegen een dijk aankijken. Dit is slechts in geringe mate negatief, omdat het om een relatief lage dijk gaat.
Strategie 1d: Verbeteren crisismanagement	+	Van het verbeteren van crisismanagement heeft niemand last. Bestuurders en bewoners zullen wel problemen hebben met het feit dat er geen maatregelen worden genomen om materiële schade te beperken.
Strategie 2a: Dijk versterken	+	Zelfde als strategie 1a.
Strategie 2b: Aangepast bouwen	+	Van het aangepast bouwen hebben mensen geen last, omdat de huizen worden opgehoogd voordat ze verkocht worden. De enige maatregel die op weerstand kan stuiten is het dryproof maken van huizen, maar dit gaat over een beperkt aantal huizen.
Strategie 2c: Verbeteren crisismanagement	+	Zelfde als strategie 1d.

Tabel 9: Scores voor draagvlak

7.9.2 Robuustheid

Voor het criterium robuustheid is gescoord in hoeverre, wanneer het in de toekomst slechter wordt, dit nog steeds een goede maatregel is. Hierbij wordt gekeken naar het effect van de maatregel en de extra investeringen die gedaan moeten worden om te voldoen aan de gestelde normen.

	Score	Argumentatie
Strategie 1a: Dijk versterken	--	Er zal bij een slechtere toekomst gewoon meer dijk verhoogd moeten worden. Daarnaast zullen de gevolgen van een dijkdoorbraak steeds ernstiger worden, omdat het hoogteverschil tussen de dijk en maaiveld steeds groter wordt.
Strategie 1b: Bypass Deventer	0	Door het bredere doorstroomprofiel zal bij een negatievere toekomst de dijk veel minder verhoogd hoeven worden met dijkversterkingen.
Strategie 1c: Compartimentering Twello	-	Als er onverwacht meer water het gebied instroomt dan nu te voorzien is, kan, door een hogere waterdiepte binnendijs, de compartimenteringsdijk alsnog doorbreken.
Strategie 1d: Verbeteren crisismanagement	++	Het effect van deze maatregel zal groter worden, omdat er vaker overstromingen plaats zullen vinden.
Strategie 2a: Dijk versterken	--	Zie strategie 1a.
Strategie 2b: Aangepast bouwen	++	In het geval van een slechtere toekomst zal deze maatregel vaker voor een schadereductie zorgen. Evenals bij het verbeteren van het crisismanagement zal deze maatregel dus een groter positief effect hebben.
Strategie 2c: Verbeteren crisismanagement	++	Zie strategie 1c.

Tabel 10: Scores voor robuustheid

7.9.3 Ruimtelijke kwaliteit

Voor het criterium ruimtelijke kwaliteit is gescoord in hoeverre de maatregel in het huidige landschap past. Hiernaast zijn kansen voor natuurontwikkeling als positief aspect meegenomen.

	Score	Argumentatie
Strategie 1a: Dijk versterken	--	Hoge dijken passen niet goed in het huidige landschap. Hiernaast biedt deze strategie geen extra kansen voor natuurontwikkeling.
Strategie 1b: Bypass Deventer	++	Deze strategie biedt veel mogelijkheden voor natuurontwikkeling.
Strategie 1c: Compartimentering Twello	-	Zoals bij het onderdeel draagvlak al is aangedragen, worden er uitzichten weggenomen die er nu wel zijn. Wel zijn het slechts kleine dijken, dus is deze strategie in geringe mate negatief.
Strategie 1d: Verbeteren crisismanagement	O	Deze strategie grijpt niet in in de huidige ruimtelijke ordening.
Strategie 2a: Dijk versterken	--	Zie strategie 1a.
Strategie 2b: Aangepast bouwen	++	Deze strategie sluit uitstekend aan op de huidige cultuurhistorische waarde van het gebied, omdat de bewoning vroeger altijd op hogere plaatsen werd gebouwd. Ook thema's als 'leven met water' en begrippen als waterbewustzijn kunnen hierdoor extra onder de aandacht komen.
Strategie 2c: Verbeteren crisismanagement	O	Deze strategie grijpt niet in in de huidige ruimtelijke ordening.

Tabel 11: Scores voor ruimtelijke kwaliteit

7.9.4 Doelmatigheid

Voor het criterium doelmatigheid is gescoord in hoeverre de maatregel specifiek op de plek met de grootste doelstelling effect heeft. Bij strategie 1 zijn dit de gebieden met de hoogste schade en bij strategie 2 zijn dit de gebieden met het hoogste LIR. Door dit verschil scoren de dijkversterkings- en crisismanagementstrategieën bij de verschillende afwegingsmethodieken anders.

	Score	Argumentatie
Strategie 1a: Dijk versterken	--	Deze maatregel heeft effect op het hele gebied en richt zich zodoende niet op een specifieke plek met een hoog economisch risico.
Strategie 1b: Bypass Deventer	+	Deze maatregel heeft een effect ten zuiden van Deventer. Dit is in het gebied ook de plaats met het grootste economisch risico door de aanwezigheid van dorpen.
Strategie 1c: Compartimentering Twello	++	Twello is verreweg het gebied met de meeste economische waarde in het gebied en de schade zal hier drastisch dalen.
Strategie 1d: Verbeteren crisismanagement	+	De maatregel heeft het grootste effect op de plek met de meeste overlijdens. Dit is hier niet het primaire doel, dus is de doelmatigheid gematigd positief.
Strategie 2a: Dijk versterken	--	Deze maatregel heeft effect op het hele gebied en richt zich zodoende niet op een specifieke plek met een hoog LIR.
Strategie 2b: Aangepast bouwen	++	Deze maatregel richt zich specifiek op de plekken met een te hoog LIR, wat hier de doelstelling is. Ook is het effect op het LIR op deze plekken groter dan bij elke andere strategie.
Strategie 2c: Verbeteren crisismanagement	++	De maatregel heeft het grootste effect op de plek met de meeste overlijdens.

Tabel 12: Scores voor doelmatigheid

7.9.5 Afwenteling

Voor het criterium afwenteling is gescoord in hoeverre de maatregel zorgt voor een andere overstromingskans van andere dijkringen. In deze scores is rekening gehouden met het feit dat voor de strategieën 2a t/m 2c een moment in de toekomst is genomen, waardoor de overstromingskans twee keer zo groot zal zijn. Als dan nog steeds geen hogere dijken nodig zijn, zal het een positiever effect op de afwenteling geven dan in de strategieën 1a t/m 1d.

	Score	Argumentatie
Strategie 1a: Dijk versterken	--	Doordat de dijken in deze dijkkring sterker zijn, zullen de dijkringen aan de andere rivieroever eerder overstromen.
Strategie 1b: Bypass Deventer	++	Door deze maatregel zal de overstromingskans aan de andere rivieroever dalen, doordat de waterstand aan beide kanten van de rivier daalt.
Strategie 1c: Compartimentering Twello	0	Bij deze maatregel wordt niet gezorgd voor een grotere of kleinere overstromingskans van andere dijkringen.
Strategie 1d: Verbeteren crisismanagement	0	Bij deze maatregel wordt niet gezorgd voor een grotere of kleinere overstromingskans van andere dijkringen.
Strategie 2a: Dijk versterken	--	Doordat de dijken in deze dijkkring sterker zijn, zullen de dijkringen aan de andere rivieroever eerder overstromen.
Strategie 2b: Aangepast bouwen	+	Bij deze maatregel wordt gezorgd voor een kleinere overstromingskans van andere dijkringen, omdat de overstromingskans van deze dijkkring twee keer zo groot is.
Strategie 2c: Verbeteren crisismanagement	+	Bij deze maatregel wordt gezorgd voor een kleinere overstromingskans van andere dijkringen, omdat de overstromingskans van deze dijkkring twee keer zo groot is.

Tabel 13: Scores voor afwenteling

8 Bevindingen

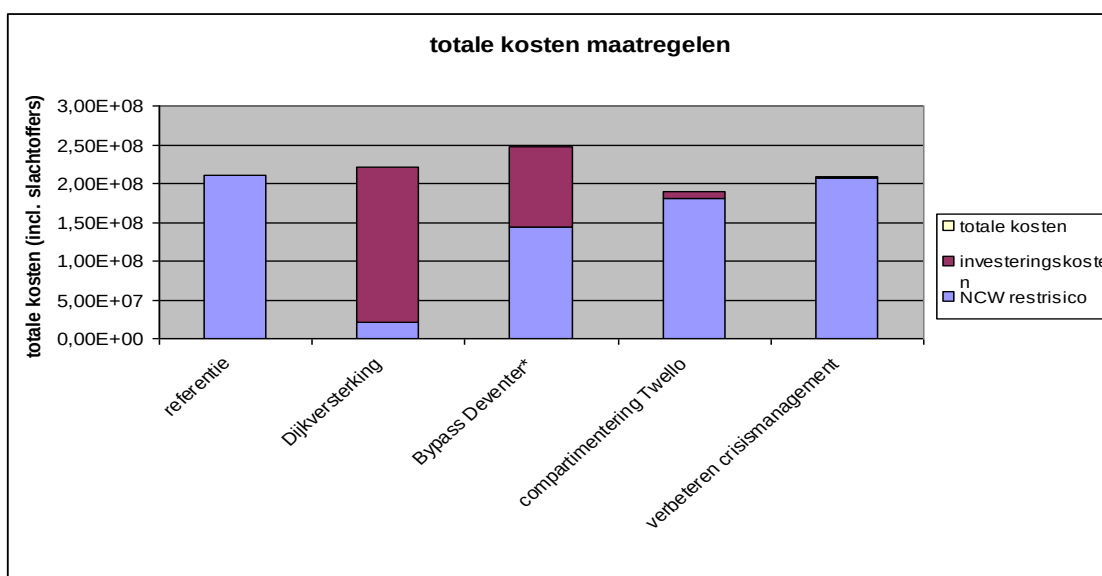
8.1 Afwegingsmethodiek 1

Binnen deze afwegingsmethodiek wordt naar de economische haalbaarheid van de verschillende maatregelen gekeken. Hiertoe wordt gekeken naar de totale kosten; de som van het restrisico en de investeringskosten. Hieronder staat een overzicht van de kosten en baten van de verschillende maatregelen, zoals deze in het vorige hoofdstuk zijn gepresenteerd, met de hieruit volgende totale kosten.

	Referentiescenario	Strategie 1a	Strategie 1b	Strategie 1c	Strategie 1d
Economische schade [M€]	6,7	0,67	4,6	5,7	6,7
Economische schade (incl. slachtoffers) [M€]	7,1	0,71	4,8	6,1	7,0
NCW restrisico [M€]	211	21	144	181	207
Investeringskosten [M€]	0	211	103*	8	0,5**
Totale kosten [M€]	211	231	247	189	207,5
*Alleen de kosten voor dijkkring 52 zijn hierbij meegenomen					
** De centrale schatting van de kosten					

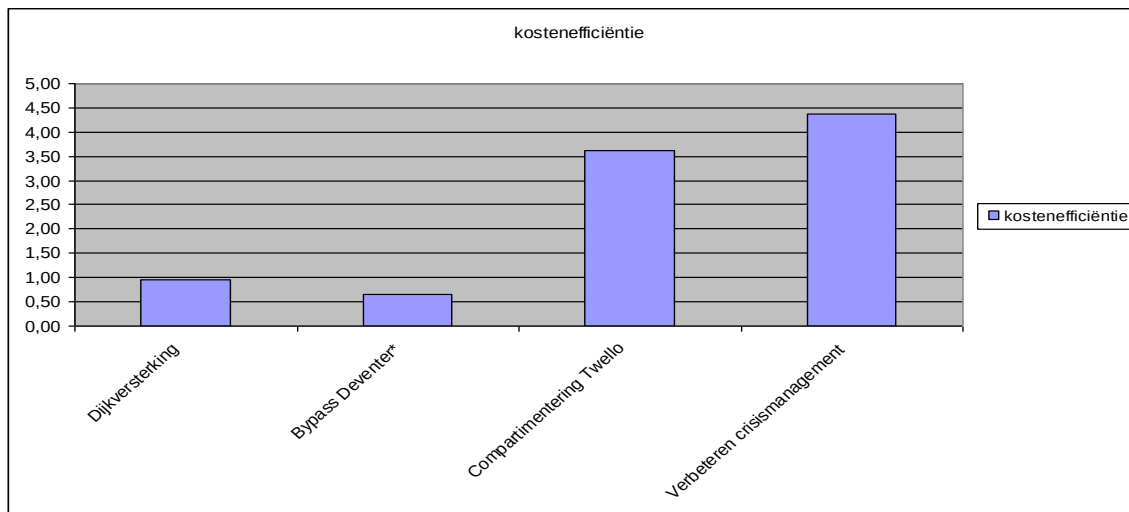
Tabel 14: Overzicht totale kosten van de verschillende strategieën

In onderstaande figuur is de opbouw van de totale kosten weergegeven. Te zien is dat ondanks het feit dat de risicovermindering van de eerstelaags strategieën dijkversterking en bypass Deventer groter is, de tweede en derdelaags maatregelen lagere totale kosten hebben door de vele malen kleinere investeringskosten. Uit het oogpunt van kostenefficiëntie (economische haalbaarheid) heb je dus de minste kosten bij tweede of derdelaags maatregelen. Als het puur verminderen je doel zou zijn, zouden dijkversterking en de bypass beter scoren, omdat investeringskosten dan niet mee zouden wegen.



Figuur 15: Totale kosten per strategie

Hieronder is naar de kostenefficiëntie van de verschillende strategieën gekeken. Deze is berekend door de risicoreductie door de investeringskosten te delen en geeft weer hoeveel euro baten je voor iedere geïnvesteerde euro terugkrijgt.

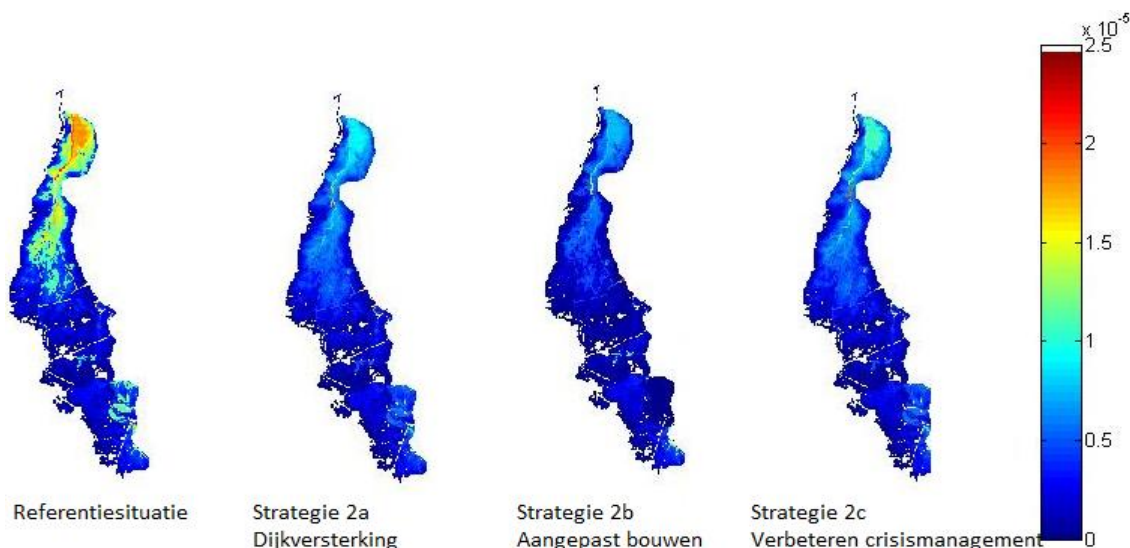


Figuur 16: Kostenefficiëntie per strategie

De gebruikte methodiek is geschikt voor het onderling vergelijken van verschillende maatregelen. Er wordt gekeken naar hoe de situatie zou zijn als de maatregelen nu uitgevoerd zouden worden voor de investering volgens het huidige prijspeil. Er is geen rekening gehouden met klimaatverandering en economische groei, omdat er wordt gespiegeld naar de huidige situatie. Als deze factoren wel mee worden genomen kan een ideaal investeringsmoment worden uitgerekend en kan hiermee de kostenefficiëntie van een maatregel verhoogd worden. Daarom kan niet gesteld worden dat maatregelen met hogere totale kosten dan in de referentiesituatie en daarmee een kleinere kostenefficiëntie dan 1 niet rendabel kunnen zijn. Maatregelen kunnen namelijk in de loop der tijd wel rendabel worden. Tevens verklaart dit verschil in aannamen en uitgangspunten de verschillen met andere onderzoeken als de optimale overstromingskansen van WV21 (Kind et al., 2013). Meer hierover staat in Hoofdstuk 9 – Discussie.

8.2 Afwegingsmethodiek 2

Hieronder is de verandering van het LIR samengevat, zoals deze in Hoofdstuk 7 – Resultaat is gepresenteerd. Voor strategie a en c valt deze verandering in het LIR te vangen in een verbeteringsfactor voor het gehele gebied. Voor strategie b is dit lastiger, omdat het over het gebied gespreid een beter of minder goed effect zal hebben. Bij strategie a en b is voldaan aan de eis om het LIR op alle plaatsen in het gebied kleiner te maken dan 10^{-5} per jaar. In het geval van strategie c blijven er enkele plaatsen in het noorden en rond de Hoven waar het LIR net groter is dan 10^{-5} per jaar.



Figuur 17: Verandering LIR bij de verschillende strategieën

Bij bovenstaande plaatjes moet rekening worden gehouden met het feit dat in deze afwegingsmethodiek naar een moment in de toekomst wordt gekeken. Door de vergroting van de overstromingskans door klimaatveranderingen wordt het LIR steeds groter in vergelijking met de huidige situatie. De referentiesituatie is dus niet hoe dijkkring 52 er op dit moment voor staat, maar hoe dijkkring 52 er op het moment in de toekomst waar we naar kijken voor staat wanneer we tot dan toe de huidige beschermingssituatie zouden onderhouden.

Hieronder staan de verbeteringsfactor en investeringskosten zoals in Hoofdstuk 7 – Resultaat in tabelvorm zijn weergegeven.

	Referentiescenario	Strategie 1a	Strategie 1b	Strategie 1C
Verbeteringsfactor LIR []	1	2	2,4*	1,6
Investeringskosten [M€]	0	161	165	0,5
	* Alleen ten noorden van Deventer, ten zuiden is geen eenduidige verbeteringsfactor			

Tabel 15: Overzicht investeringskosten en effect op LIR

8.3 Overige criteria

Hieronder staat van de overige criteria per strategie gepresenteerd hoe ze scoren. Aan de hand van deze tabel kan worden gesteld of een strategie overwegend positief of negatief uit de bus komt op het gebied van andere criteria dan effectiviteit en efficiëntie. Voor de conclusies zijn voornamelijk de argumentaties uit Hoofdstuk 7 – Resultaat van belang.

	Draagvlak	Robuustheid	Ruimtelijke kwaliteit	Doelmatigheid	Afwenteling
Strategie 1a: Dijk versterken	+	--	--	--	--
Strategie 1b: Bypass Deventer	--	0	++	+	++
Strategie 1c: Compartimentering Twello	-	-	-	++	0
Strategie 1d: Verbeteren crisismanagement	+	++	0	+	0
Strategie 2a: Dijk versterken	+	--	--	--	--
Strategie 2b: Aangepast bouwen	+	++	++	++	+
Strategie 2c: Verbeteren crisismanagement	+	++	0	++	+

Tabel 16: Overzicht scores andere criteria

9 Discussie

Dit onderzoek is gericht op de vraag of maatregelen uit de tweede en derde laag van veiligheid kansrijk zijn om in de toekomst een bijdrage te leveren aan het waterveiligheidsbeleid in Nederland. Hiertoe is een gebied gekozen dat **gunstige eigenschappen** heeft met betrekking tot dit type maatregelen. Dit heeft tot gevolg dat uit dit onderzoek hooguit kan blijken dat maatregelen in dit gebied kansrijk lijken en welke gebiedseigenschappen hier invloed op hebben. Deze gebiedseigenschappen kunnen vervolgens meegenomen worden in volgende gebiedspilots. Er kan niet worden vastgesteld dat meerlaagse veiligheid in heel Nederland sowieso wel of geen kansrijke strategie is. Op basis van pilots in verschillende gebieden kan wel een uitspraak gedaan worden over meerlaagse veiligheidsstrategieën als geheel.

In dit onderzoek is aangesloten bij de twee meest voor de hand liggende **uitgangspunten** voor het waterveiligheidsbeleid, namelijk economische haalbaarheid en basisveiligheid. Er zijn nog heel veel andere uitgangspunten te bedenken waarop de vorm en de hoogte van de norm vast te stellen zijn. De keuze voor de invalshoek heeft een enorme invloed op de effectiviteit van de verschillende maatregelen. Zo zal in het geval van economische haalbaarheid compartimentering van Twello een kansrijke strategie zijn, terwijl deze voor basisveiligheid weinig uit zal halen, omdat het LIR niet te hoog is in dat gebied. Pas nadat een vorm en hoogte van een norm is vastgesteld, kan de hand hiervan concreet worden aangegeven welk type maatregelen vanuit die visie als kansrijke strategieën kunnen worden aangemerkt.

Er zijn in dit onderzoek zeven strategieën uitgewerkt. Deze maatregelpakketten zijn vastgesteld om uitspraken te kunnen doen over de kansen van meerlaagse veiligheid in dit gebied. Daarnaast is bij het kiezen van deze strategieën rekening gehouden met het feit dat de maatregel door te rekenen moet zijn binnen de tijdsspanne van dit kleine onderzoek, waardoor enkele kansrijke maatregelen niet zijn meegenomen. Deze **selectieve keuzemethodiek** maakt het binnen de beperkte tijdsspanne van dit onderzoek mogelijk om een uitspraak te doen over de effectiviteit van meerlaagse veiligheidsstrategieën. De keerzijde hiervan is dat dit onderzoek niet geschikt is om een keuze te maken voor een veiligheidsstrategie voor dijkkring 52.

In dit onderzoek zijn hoofdzakelijk strategieën meegenomen die uit één maatregel bestaan. In werkelijkheid zou het goed kunnen dat de maatregelen uit de verschillende strategieën worden gecombineerd. Het is hierbij belangrijk op te merken dat de effecten **niet simpelweg op te tellen** zijn. Het effect van maatregelen die de gevolgen van een overstroming voorkomen (zoals compartimenteren, aangepast bouwen of het verbeteren van crisismanagement) is bijvoorbeeld sterk afhankelijk van de overstromingskans, omdat de maatregel alleen effect heeft op het moment dat er een overstroming plaatsvindt. Wanneer besloten wordt de dijken te versterken of een bypass aan te leggen, zullen dit type maatregelen veel minder risicovermindering tot gevolg hebben.

Er is een groot **verschil in de gebruikte methode** bij de WV21-onderzoeken (Kind et al., 2013) en deze casus. In deze casus wordt namelijk gerekend met de situatie alsof de maatregelen nu genomen zouden worden. In WV21 wordt het jaar 2050 als zichtjaar genomen. De waterveiligheid verslechtert in de tussentijd geleidelijk door klimaatverandering. Hierdoor wordt het op een gegeven moment noodzakelijk om iets te gaan doen. Door op het juiste moment te investeren kan de contante waarde van de investeringen die benodigd zijn om aan een norm te voldoen lager zijn, dan wanneer de maatregelen nu genomen worden. Als dit wordt meegenomen, wordt rekening gehouden met het economisch optimale investeringsmoment. De materiële schade stijgt ieder jaar met 1,9% en de bevolking groeit met 0,2% per jaar, waardoor het ontweken risico in 2050 een factor 2 groter is. Doordat de overstromingskans groter is, de baten groter en het economisch optimale investeringsmoment wordt meegenomen, wijken de economisch optimale kansen die uit de WV21-onderzoeken volgen sterk af van de waarden uit dit onderzoek.

Dit onderzoek is binnen een korte tijdsspanne uitgewerkt. Om dit mogelijk te maken is veel gewerkt met vuistregels en inschattingen van experts. Hierdoor is een globale inschatting te maken van de kosten en effecten van een maatregel. Als gedetailleerder onderzoek gewenst is, is het interessant om inzicht te krijgen in welke aannames een grote invloed hebben op de resultaten. Dit is ook interessant om te weten voor de uitvoer van vergelijkbare casussen. Hieronder staan een tweetal aannames uitgewerkt waarvan tijdens het onderzoek is opgemerkt dat de **gevoeligheid** erg groot is.

Er is aangenomen dat in **50 jaar** alle huizen in een gebied herbouwd worden. Dit komt voort uit het feit dat huizen worden ontworpen voor een levensduur van 50 jaar. Het is echter denkbaar dat er huizen zijn die langer dan 50 jaar blijven staan. Dit zou bij de strategie 'aangepast bouwen' een effect hebben op het aantal huizen dat dryproof moet worden gemaakt in plaats van verhoogd aangelegd tijdens het herbouwen. Bij een toename van 10% meer huizen die niet herbouwd worden, stijgen de kosten voor het aanpassen van de bebouwing met 12%. Dit maakt de kosten van de strategie 'aangepast bouwen' erg gevoelig voor de aanname dat alle huizen in 50 jaar worden herbouwd.

In het referentiescenario is uitgegaan van een **preventieve evacuatiefractie** van 75% (Kolen & Terpstra, 2012). Dit is de aanname die geldt voor het bovenstroomse deel van het Nederlandse rivierengebied. Dijkkring 52 ligt vlak naast de Veluwe, waardoor evacuatie relatief eenvoudig is. Het is voor te stellen dat de preventieve evacuatiefractie al een stuk hoger is dan 75%. Wanneer de preventieve evacuatiefractie nu al 85% is, zou extra inzetten op crisismanagement geen enkel effect meer hebben. Het tegengestelde kan ook het geval zijn. Doordat het eenvoudig is om mensen te evacueren, kan het effect van een maatregel op het gebied veel effectiever zijn dan de ingeschatte stijging van de evacuatiefractie naar 85%. Als dit bijvoorbeeld naar 95% stijgt, zullen de baten van deze maatregel bijna verdubbelen. De strategie crisismanagement is zodoende erg gevoelig voor de aanname van de preventieve evacuatiefractie vóór en na de maatregel. Hiernaast is ook bekend dat inschattingen van de preventieve evacuatiefractie ook erg onzeker zijn, wat het nog interessanter maakt om hier goed naar te kijken.

Op basis van dit onderzoek kan worden aangegeven of strategieën interessant kunnen zijn en of het realistisch lijkt dat een maatregel wordt toegepast. Het onderzoek is te **globaal** om een definitieve keuze te maken op het gebied van welke maatregelen er genomen moeten worden. Dit blijkt bijvoorbeeld uit de bandbreedte voor dijkversterking. Volgens WV21 liggen de kosten van het tien keer zo sterk maken van een dijk ergens tussen de 151 en 234 miljoen euro (De Grave & Baarse, 2011). Dit is een prima bandbreedte om een globale inschatting voor het vergelijken van maatregelen te maken, maar niet om een definitieve keuze te maken. Om een keuze voor de toekomst van dijkkring 52 te maken is een ander type onderzoek nodig. Dit onderzoek is gedaan om de geschiktheid van maatregelen in de tweede en derde veiligheidslaag te onderzoeken.

10 Conclusie

10.1 *Hoofddoel*

Het doel van dit onderzoek is het bijdragen aan de inzichten over de geschiktheid van maatregelen in de tweede en derde laag van het meerlaagse veiligheidsconcept voor het verkleinen van het overstromingsrisico. Hieronder worden eerst de uitgangspunten van dit onderzoek en de redenen voor de keuzes hiervan toegelicht. Daarna zullen de conclusies van dit onderzoek worden gepresenteerd

10.2 *Uitgangspunten onderzoek*

In dit onderzoek is Oost-Veluwe, ook wel bekend als dijkkring 52, als onderzoeksgebied gekozen. Redenen hiervoor waren:

- Er zijn tot nog toe geen casussen langs de IJssel uitgewerkt, wat dit onderzoek tot een toevoeging op het al gedane onderzoek maakt.
- De overstromingsdiepte in het zuiden van het studiegebied is veelal kleiner dan 2 meter, wat 'aangepast bouwen' mogelijk maakt.
- De overstromingsduur in het zuiden van het studiegebied valt binnen de ordegrrootte dagen of weken, wat 'aangepast bouwen' mogelijk maakt.
- Er is een relatief grote overstromingskans, namelijk 1/250 per jaar. Dit zorgt ervoor dat maatregelen die de gevolgen in het geval van een overstroming kleiner maken waarschijnlijk economisch rendabel zullen zijn.
- In het zuiden is een aantal kleine plekken met een LIR groter dan 10^{-5} per jaar, wat kansen biedt om lokale maatregelen af te wegen tegen maatregelen die de hele dijk verbeteren als basisveiligheid het primaire doel is.
- Het gebied heeft een relatief laag overstromingsrisico, maar wel een hele lange dijk. Dit maakt lokale maatregelen uit economisch perspectief relatief kansrijk ten opzichte van dijkversterkingsmaatregelen.
- Aan de andere rivieroever liggen gebieden met veel waarde zoals Zutphen, Deventer en Zwolle. Door het afwentelingseffect te kunnen beperken, kan daar veel schade worden voorkomen.
- De Veluwe ligt vlakbij, wat maatregelen die de preventieve evacuatiefractie verhogen kansrijk maken.

Het doel dat men wil bereiken met een waterveiligheids maatregel volgt uit een visie. Er is gekozen om dit onderzoek voor twee visies uit te werken:

- 1) Allereerst wordt gekeken naar **economische haalbaarheid**. Binnen deze visie is het belangrijk dat met relatief goedkope maatregelen het restrisico zo ver mogelijk terug wordt gedrongen. Allereerst worden de totale kosten (de som van het restrisico en de investeringskosten) van alle maatregelpakketten vergeleken. Hiernaast wordt ook de kostenefficiëntie (de verhouding tussen de investeringskosten en de risicovermindering van een maatregel) vergeleken.
- 2) Hiernaast wordt gekeken naar **basisveiligheid**. Bij deze visie is het van belang dat geen enkele Nederlander een te grote kans heeft om te overlijden ten gevolge van een overstroming. Hiertoe mag het LIR, dat het overlijdensrisico representeert, in bewoonde gebieden niet groter zijn dan 10^{-5} per jaar.

Mede hieruit volgen de criteria waarop een maatregel zal worden beoordeeld. De volgende criteria zijn gebruikt om de strategieën te beoordelen. Binnen afwegingskader 1 worden, zoals hierboven besproken, de criteria de **totale kosten** en de **kostenefficiëntie** gebruikt. Bij afwegingskader 2 wordt gekeken naar hoeveel beter het **LIR** wordt. De overige criteria die zijn vastgesteld zijn:

- **Draagvlak**, de mate waarin bewoners en betrokkenen in het gebied positief tegenover de plannen zullen staan.
- **Robuustheid**, de mate waarin een maatregel in een breed scala aan toekomstscenario's een positief effect zal geven.
- **Ruimtelijke kwaliteit**, de mate waarin de genomen maatregelen passen in het huidige landschap.
- **Doelmatigheid**, de mate waarin de maatregel effect heeft op de plaats met de grootste doelstelling.
- **Afwenteling**, de mate waarin andere dijkringen een grotere overstromingskans krijgen door de maatregelen in dijkkring 52.

10.3 *Maatregeltypen*

Voor dit onderzoek zijn voor vijf maatregeltypen de criteria uitgewerkt. Afhankelijk van de geschiktheid van het maatregeltypen om bij te dragen aan de verlaging van het overstromingsrisico en/of de verlaging van het economisch risico zijn ze voor een of beide visies uitgewerkt.

10.3.1 **Maatregeltypen 1: dijk versterken**

Binnen dit maatregeltypen is dijkversterking toegepast om de overstromingskans te verkleinen. Met het oog op de economische haalbaarheid is de overstromingskans met een factor tien gereduceerd. Met het oog op basisveiligheid is, om in de toekomst ook aan de norm te voldoen, de dijk met een factor twee versterkt.

De totale kosten van deze strategie zijn iets hoger dan bij andere strategieën. Wel is het de strategie met veruit het laagste restrisico. Dit houdt in dat dijkversterking niet zo kostenefficiënt is in het verlagen van het restrisico, maar dat dit wel de strategie is waarin de bewoners van dijkkring 52 het laagste risico op schade hebben. Hiernaast kan met dijkversterkingsmaatregelen de verkleining van het LIR, in vergelijking met andere maatregeltypen, voor vergelijkbare investeringskosten worden gerealiseerd.

Als gekeken wordt naar andere criteria is te zien dat dijkversterking zeer slecht scoort op het vlak van robuustheid en ruimtelijke kwaliteit. Dit is niet zo wonderlijk, aangezien dit onder andere de reden is dat er eind vorige eeuw overgestapt is op het maken van ruimte voor de rivier. Ook op het gebied van doelmatigheid en afwenteling scoort dijkversterking zeer slecht.

Al met al kan worden geconcludeerd dat dijkversterking een prima oplossing is als puur naar het verlaagde risico gekeken wordt vanuit een economisch perspectief. Echter lijkt het, met het oog op robuustheid, ruimtelijke kwaliteit, doelmatigheid en afwenteling, zeer interessant om te onderzoeken of er andere oplossingen zijn.

10.3.2 **Maatregeltypen 2: Bypass Deventer**

Binnen dit maatregeltypen is uit het oogpunt van economische haalbaarheid gekeken hoe de aanleg van de bypass bij Deventer zou scoren. Door de bypass bij Deventer krijgt de rivier meer ruimte, waardoor de waterstand in de IJssel zal verlagen en zodoende de overstromingskans zal verkleinen.

Het lijkt vanuit het oogpunt van dijkkring 52 geen kostenefficiënte maatregel om de bypass bij Deventer aan te leggen. Er worden grotere investeringen gedaan dan bij een dijkversterkingsstrategie, terwijl het restrisico niet eens halveert. Zodoende is het voor de risicoreductie van dijkringen met een laag risico uit economisch oogpunt niet haalbaar om grote infrastructurele rivierverruimingsprojecten als een bypass uit te voeren.

De waterstand wordt lager aan twee oevers van de IJssel. Aan de andere oever liggen Deventer en Zutphen, die beide baat hebben bij deze bypass. In dit onderzoek is alleen globaal gekeken naar deze risicovermindering. Op basis van deze eerste inschatting kan niet worden uitgesloten dat door de baten bij Deventer en Zutphen deze bypass uit economisch oogpunt een kostenefficiënte maatregel is.

In vergelijking met dijkversterking scoort een rivierverruimingsmaatregel als de bypass vele malen beter op het gebied van robuustheid, ruimtelijke kwaliteit, doelmatigheid en afwenteling. Als, danwel met het oog op de kostenefficiëntie, danwel met het oog op bovengenoemde criteria wordt besloten dat dit een goede maatregel is om uit te voeren, moet goed worden nagedacht hoe bestuurlijk en maatschappelijk draagvlak gecreëerd kan worden. Dit is complex omdat, zoals hierboven beschreven, de plaats waar de bypass komt te liggen, niet de plaats is met het grootste belang bij deze bypass.

10.3.3 Maatregeltype 3: Compartimentering

Voor dit maatregeltype is met het oog op economisch haalbaarheid een strategie uitgewerkt, waarin een compartimenteringsdijk om Twello heen wordt gelegd. Op deze manier worden, in het geval van een dijkdoorbraak, de schade en het vallen van slachtoffers in Twello voorkomen.

De compartimentering van Twello reduceert het restrisico met een derde van het totaal. In vergelijking met dijkversterking is een compartimenteringsdijk om Twello drie tot vier keer zo kostenefficiënt. Dit komt voornamelijk door de lage benodigde investeringskosten, doordat het om een relatief lage en korte dijk gaat. In dit onderzoek is als doelstelling het verlagen van het restrisico genomen. Ook voor het verlagen van het LIR kan deze strategie gebruikt worden, wanneer de plaatsen met een te hoog LIR maar dicht bij elkaar liggen en de overstromingsdiepte laag is.

Op het gebied van doelmatigheid scoort de maatregel zeer goed, omdat de maatregel precies op de plaats met een doelstelling effect heeft. Doordat de aanleg van een nieuwe dijk noodzakelijk is, scoort deze maatregel slecht op het gebied van draagvlak en ruimtelijke kwaliteit. Als compartimentering als strategie wordt overwogen, moet een afweging tussen deze waarden en de extra kostenefficiëntie gemaakt worden.

Compartimentering lijkt een interessante optie op plekken waar een specifieke relatief kleine plaats met een lage dijk beschermd kan worden. De extra efficiëntie moet worden afgewogen tegen een mogelijk gebrek aan draagvlak, de vermindering van de ruimtelijke kwaliteit en het onzeker zijn van het effect van de maatregel in de toekomst.

10.3.4 Maatregeltype 4: Aangepast bouwen

Binnen deze strategie wordt met het oog op de basisveiligheid dijkversterking in het zuiden ingewisseld tegen aangepast bouwen. De huizen met een hoger LIR rond de Hoven zijn verhoogd aangelegd of verbouwd, zodat een overstroming tot twee meter waterdiepte geen probleem meer vormt. De dijk ten noorden van Twello is zo versterkt dat de overstromingskans tien keer zo klein is.

Voor een strategie van aangepast bouwen zijn ongeveer dezelfde investeringskosten nodig voor het verlagen van het LIR als met dijkversterking. Omdat in dit onderzoek de dijk ten noorden van Twello extra verhoogd wordt, met het oog op een gebied met een te hoog LIR, zijn de kosten voor deze strategie nog relatief hoog. Was dit gebied er niet geweest, dan was aangepast bouwen een kostenefficiëntere optie geweest dan dijkversterking.

Hiernaast scoort aangepast bouwen goed tot zeer goed op alle fronten waar dijkversterking zeer slecht scoort. Verhoogd bouwen is een zeer robuuste en zeer doelmatige strategie die de ruimtelijke kwaliteit verbetert en een positief effect heeft op de afwenteling. Voor dryproof bouwen geldt hetzelfde tot een overstromingsdiepte van twee meter. Hierboven heeft de maatregel geen effect meer. Door deze karakteristieken van deze strategie lijkt aangepast bouwen een interessantere strategie dan dijkversterking.

Aangepast bouwen is interessant als er in een gebied met weinig bebouwing een te hoog overlijdensrisico is. Bij de vergelijking met andere maatregeltypen moet goed gekeken worden naar het positieve effect op andere waarden dan kostenefficiëntie alleen, omdat daar de grootste winst te behalen lijkt.

10.3.5 Maatregeltype 5: Verbeteren crisismanagement

Voor dit maatregeltipe wordt uit het oogpunt van zowel basisveiligheid als economische haalbaarheid gekeken welk effect het verbeteren van de evacuatie heeft. De evacuatie is verbeterd zodat het percentage mensen dat het gebied kan ontluchten voordat de overstroming plaatsvindt, stijgt van 75% naar 85%.

Het verbeteren van het crisismanagement richt zich alleen op het verkleinen van het slachtofferisico. Zodoende is deze maatregel extreem effectief in het verlagen van het LIR. Er is een volledig andere ordegrootte aan investeringen benodigd om het LIR te verlagen. De kosten van andere strategieën liggen rond de 160 miljoen euro. De kosten van het verbeteren van het crisismanagement worden daarentegen onder een miljoen geschat.

Ook uit het oogpunt van kostenefficiëntie is dit een goed scorende maatregel. Zo is deze maatregel een factor vier tot vijf keer zo efficiënt als dijkversterking. Het risico kan echter maar beperkt worden teruggedrongen, omdat er geen materiële schade wordt voorkomen.

Hiernaast scoort het verbeteren van het crisismanagement goed als een gedragen en doelmatige oplossing en zeer goed als robuuste oplossing. Hiernaast is er een positief effect op de afwenteling naar de andere rivieroever.

10.4 *Eindconclusie*

Over het algemeen sluit deze gebiedspilot zich aan bij de eerdere conclusie over maatregelen uit de tweede en derde laag van veiligheid. Voor maatregelen uit de tweede laag betekent dit dat er goed gekeken wordt naar specifieke kansen die voortkomen uit de gebiedskarakteristieken. Voor derdelaaags maatregelen is gesteld dat ze zeer kostenefficiënt zijn, maar voornamelijk geschikt als toevoeging op andere strategieën met het oog op de beperkte hoeveelheid schade die ze maximaal kunnen voorkomen. Met het oog op robuustheid, ruimtelijke kwaliteit, doelmatigheid en afwenteling lijkt het zinvol om bij het ontwerpen van waterveiligheidsmaatregelen te kijken naar mogelijkheden voor maatregelen uit de tweede en derde laag.

Voor maatregelen uit de tweede laag zijn specifieke gebiedskarakteristieken zeer belangrijk om te bepalen of maatregelen kansrijk kunnen zijn. De keuze van de maatregelen moeten een gebiedskenmerk als grondslag hebben. Voor dichtbebouwde kleine oppervlaktes en een kleine overstromingsdiepte lijkt omdijken een logische keuze uit het oogpunt van economische haalbaarheid. Het is goed denkbaar dat omdijken voor soortgelijke gebieden met een hoog LIR uit het oogpunt van basisveiligheid efficiënt is. Voor gebieden met weinig bebouwing lijkt aangepast bouwen een logische zoekrichting.

Maatregelen in de derde beschermingslaag zijn kostenefficiënt en zeer effectief in het verlagen van het LIR. Omdat er geen materiële schade wordt voorkomen, moet worden bedacht welke rol het verbeteren van het crisismanagement zou moeten spelen in waterveiligheidsstrategieën. Hoe groter de rol van het overlijdensrisico in de norm, hoe kansrijker de maatregelen die betrekking hebben op het crisismanagement.

11 Referenties

ANWB bv, 2006, ANWB Topografische Atlas 1:25000, Overijssel

Arcadis, Royal Haskoning & Fugro, 2005, Compartimenteringsdijken, kostenkentallen en kostenraming voor drie tracés.

Asselman & Slager, september 2012, Kansrijkdomkaart meerlaagsveiligheid, conceptversie

Asselman & Voorsluijs, januari 2012, Verkenning zoekrichtingen Deltaprogramma Rivieren

Beckers, 2011, mondelinge mededeling

*Deelprogramma Veiligheid, geraadpleegd op 24 juni 2013,
<http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/deltaprogramma/deelprogramma-s/deelprogramma-veiligheid/>*

De Grave, 2011, geraadpleegd tussen 22 april en 28 juni 2013, dijkentool versie 0.1, bevat informatie geproduceerd voor het onderstaande rapport.

De Grave & Baarse, maart 2011, Kosten van maatregelen - informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid 21e eeuw

De Jong & van Agtmaal-Woma, 3e kwartaal 2008, Regionale bevolkings- en huishoudensprognose 2007-2025: belangrijkste uitkomsten

*Deltaprogramma Rivieren, geraadpleegd tussen 22 april en 28 juni 2013, Blokkendoos,
<http://www.deltaportaal.nl/blokkendoos/>*

Deltares^a, geraadpleegd op 24 juni 2013, <http://www.deltaressystem.com/hydro/product/108282/sobek-suite>

Deltares^b, geraadpleegd op 24 juni 2013, <http://www.deltares.nl/nl/software/1025628/his-ssm1>

Doorewaard & Verschuren, 2007, Het ontwerpen van een onderzoek

Expertisenetwerk waterveiligheid (ENW), z.d., Piping, Realiteit of Rekenfout?

Gemeente Brummen, 2013, woningvoorraad 2013

*Gemeente Heerde, geraadpleegd op 24 juni 2013,
http://www.heerde.nl/Over_Heerde/Feiten_en_cijfers/Inwoneraantal_gemeente_Heerde*

Gemeente Voorst, 2013, Voorst in cijfers 2013

Gemeente Zutphen, 2012, Statistisch Jaarboek 2012, Gemeente Zutphen

Google Earth, geraadpleegd op 2 mei 2013

Kind, 2011, Maatschappelijke kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21^e eeuw

Kind et al., maart 2013, Proeve Plangebied Deltaprogramma Rivieren, Quick scan methode, opgave en strategieën voor waterveiligheid.

Kolen, mei 2013, Ervaringen stappenplan en afwegingskader Meerlaagsveiligheid

Kolen & Terpstra, juni 2012, Evacuatieschattingen Nederland en het effect van investeringen, Globale inventarisatie kosten en baten van rampenbeheersing bij overstromingen.

Kuijper & Stijnen & Van Velzen, maart 2011, Overstromingskansen - informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid 21e eeuw

Landelijke database voor richtlijn overstromingsrisico's (ROR), 2013

Nederlands Instituut voor de Fysieke Veiligheid, geraadpleegd op 24 juni 2013, <http://www.infopuntveiligheid.nl/Publicatie/DossierItem/66/1641/dijkkringen-in-nederland.html>

Nederlandse Spoorwegen, geraadpleegd op 24 juni 2013, <http://www.ns.nl/cgi-bin/spoorkaart/spoorkaart>

Oranjewoud & HKV - lijn in water, 7 november 2011, Syntheserapport Gebiedspilots Meerlaagsveiligheid

Rijkswaterstaat, geraadpleegd op 24 juni 2013, http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/water_en_ruimte/simona/simona_rekenkern/waqua

Stowa Deltaproof, geraadpleegd op 17 april 2013, <http://deltaproof.stowa.nl/projecten/>

Sullivan et al., november 2009, Engineering Economy

Projectdossier_Meerlaagse_Veiligheid.aspx?pld=23

Rijkswaterstaat, geraadpleegd tussen 22 april en 28 juni 2013, BlokkendoosPKB versie 2.00.0011

Roosjen & Zethof, november 2012, Kosten Kentallen van Meerlaagveiligheid maatregelen

Thonus & Wolters, geraadpleegd tussen 22 april 2013 en 28 juni 2013, MLV-instrumentarium, MLV instrument versie 1.0, gebruikershandleiding

Van der Doef & Kind, april 2012, Factsheets Basisinformatie Waterveiligheid 21e eeuw

Van der Most, mei 2011, Samenvatting van analyse van slachtofferrisico's en maatschappelijke kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21e eeuw

Waterwet, geldend op 24 juni 2013, Waterwet artikel 2.2.1 en bijlage II

Zanting & Noordam, 2 juni 2008, Waterveiligheid 21e eeuw, synthesesedocument.

Zethof et al., december 2012, Meerlaagsveiligheid, methode nader verklaard