

Opdrachtgever: **Provincie Zuid-Holland**

Compartimenteringskeringen dijkringen 17, 20, 21, 22 en 25



Tauw



Opdrachtgever: **Provincie Zuid-Holland**

Compartimenteringskeringen dijkringen 17, 20, 21, 22 en 25



Tauw



Auteurs

C.J.M. Vermeulen

J. van der Zwet

R.M. van Dam (Tauw)

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding tot het project	1
1.2	Doelstelling	2
1.3	Leeswijzer	3
2	Werkwijze en methodiek	5
2.1	Kansen van overstroming	5
2.2	Gevolgen	5
2.2.1	Overstromingsmodellen	5
2.2.2	Overstromingsberekeningen	5
2.2.3	Schade en slachtoffers	6
2.3	Kosten compartimenteringskeringen	7
2.3.1	Investeringskosten	7
2.3.2	Kosten voor beheer en onderhoud	9
2.4	Kosten en baten	9
2.5	Lokaal Individueel Risico	9
3	Dijkkring 17 - IJsselmonde.....	11
3.1	Algemeen	11
3.2	Inrichtingsvarianten.....	13
3.3	Resultaten	15
3.3.1	Gevolgen	15
3.3.2	Kosten	21
3.3.3	Kosten-baten.....	22
3.3.4	Lokaal individueel risico	23
3.4	Samenvatting dijkkring 17 – IJsselmonde	26
4	Dijkkring 20 – Voorne-Putten	27
4.1	Algemeen	27
4.2	Inrichtingsvarianten.....	29
4.3	Resultaten	29
4.3.1	Gevolgen	29
4.3.2	Kosten	32
4.3.3	Kosten-baten.....	33
4.3.4	Lokaal individueel risico	34
4.4	Samenvatting dijkkring 20 – Voorne-Putten	37
5	Dijkkring 21 – Hoekse Waard	39
5.1	Algemeen	39
5.2	Inrichtingsvarianten.....	40
5.3	Resultaten	42
5.3.1	Gevolgen	42
5.3.2	Kosten	44
5.3.3	Kosten-baten.....	45
5.3.4	Lokaal individueel risico	46
5.4	Samenvatting dijkkring 21 – Hoekse Waard.....	49

6	Dijkring 22 – Eiland van Dordrecht	51
6.1	Algemeen	51
6.2	Inrichtingsvarianten	52
6.3	Resultaten	55
6.3.1	Gevolgen	55
6.3.2	Kosten	58
6.3.3	Kosten-baten	58
6.3.4	Lokaal individueel risico	59
6.4	Samenvatting dijkring 22 – Eiland van Dordrecht	63
7	Dijkring 25 – Goeree-Overflakkee	65
7.1	Algemeen	65
7.2	Inrichtingsvarianten	66
7.3	Resultaten	67
7.3.1	Gevolgen	67
7.3.2	Kosten	69
7.3.3	Kosten-baten	70
7.3.4	Lokaal individueel risico	70
7.4	Samenvatting dijkring 25 – Goeree-Overflakkee	72
8	Discussie	75
8.1	Referentiesituatie	75
8.2	Overstromingskansen DPV-norm	75
8.3	Gevoeligheid baten van compartimenteringskeringen	75
8.4	Gevoeligheid kostenberekening	76
9	Samenvatting en conclusies	79
10	Referenties	83
	Bijlage A: Afkortingen	87
	Bijlage B: Bouw overstromingsmodel	89

Lijst van tabellen

Tabel 1:	Evacuatiefracties per dijkkring conform DPV.....	9
Tabel 2:	Overstromingskansen dijkkring 17, IJsselmonde.....	12
Tabel 3:	Schadebedragen bij toetspeil voor bressen in het oostelijke deel van dijkkring 17 (IJsselmonde).....	18
Tabel 4:	Investeringskosten per inrichtingsvariant voor dijkkring 17, IJsselmonde.....	21
Tabel 5:	Kosten-baten van compartimenteringskeringen dijkkring 17 voor de faalkans in de referentiesituatie, uitgerekend over een oneindige tijdshorizon.	22
Tabel 6:	Kosten-baten van compartimenteringskeringen dijkkring 17 voor de DPV-norm, uitgerekend over een oneindige tijdshorizon.	23
Tabel 7:	Overstromingskansen dijkkring 20, Voorne-Putten.	28
Tabel 8:	Investeringskosten per inrichtingsvariant voor dijkkring 20, Voorne-Putten.	33
Tabel 9:	Kosten-baten van compartimenteringskeringen dijkkring 20 voor de faalkans in de referentiesituatie, uitgerekend over een oneindige tijdshorizon.	33
Tabel 10:	Kosten-baten van compartimenteringskeringen dijkkring 20 voor de DPV-norm, uitgerekend over een oneindige tijdshorizon.	34
Tabel 11:	Overstromingskansen dijkkring 21, Hoekse Waard.	40
Tabel 12:	Investeringskosten per inrichtingsvariant voor dijkkring 21, Hoekse Waard.	44
Tabel 13:	Kosten-baten van compartimenteringskeringen dijkkring 21 voor de faalkans in de referentiesituatie, uitgerekend over een oneindige tijdshorizon.	45
Tabel 14:	Kosten-baten van compartimenteringskeringen dijkkring 21 voor de DPV-norm, uitgerekend over een oneindige tijdshorizon.	45
Tabel 15:	Overstromingskansen dijkkring 22, Eiland van Dordrecht.	52
Tabel 16:	Investeringskosten per inrichtingsvariant voor dijkkring 22, Eiland van Dordrecht.	58
Tabel 17:	Kosten-baten van compartimenteringskeringen dijkkring 22 voor de faalkans in de referentiesituatie, uitgerekend over een oneindige tijdshorizon.	59
Tabel 18:	Kosten-baten van compartimenteringskeringen dijkkring 22 voor de DPV-norm, uitgerekend over een oneindige tijdshorizon.	59
Tabel 19:	Overstromingskansen dijkkring 25, Goeree-Overflakkee.	66
Tabel 20:	Investeringskosten per inrichtingsvariant voor dijkkring 25, Goeree-Overflakkee.	69
Tabel 21:	Kosten-baten van compartimenteringskeringen dijkkring 25 voor de faalkans in de referentiesituatie, uitgerekend over oneindige tijdshorizon.	70
Tabel 22:	Kosten-baten van compartimenteringskeringen dijkkring 25 voor de DPV-norm, uitgerekend over periode van 50 jaar.	70
Tabel 23:	Contante waarde van de totale kosten ten opzichte van de huidige inrichting over een oneindige tijdshorizon voor alle dijkringen en inrichtingsvarianten (op basis van DPV-normen van de primaire keringen).	80
Tabel 24:	Contante waarde van de totale kosten ten opzichte van de huidige inrichting over een oneindige tijdshorizon voor alle dijkringen en inrichtingsvarianten (op basis van faalkansen van de primaire keringen in de referentiesituatie).	80
Tabel 25:	Conversietabel van LGN 6 naar White Colebrook ruwheid.	91
Tabel 26:	Karakteristieke Uc-waarden (SOBEK help file).	93

Lijst van figuren

Figuur 1:	Dijkringen 17, 20, 21, 22 en 25.	1
Figuur 2:	Modelschematisatie dijkkring 17.	11
Figuur 3:	Externe bressen, compartimenteringskeringen en DPV-trajecten dijkkring 17 (IJsselmonde).	12
Figuur 4:	Inrichtingsvarianten van dijkkring 17, IJsselmonde.	14
Figuur 5:	Doorbraak bij EB_47 voor huidige inrichting (links) en IRV4 (rechts).	16
Figuur 6:	Doorbraak van bres EB_62 voor huidige inrichting (links) en IRV4 (rechts).	16
Figuur 7:	Doorbraak van bres EB_58 voor de huidige inrichting (links) en voor inrichtingsvariant 'hoog' (rechts).	17
Figuur 8:	Bressen binnen compartiment 'Heerjansdam-Zuidwest'.	17
Figuur 9:	Overstroming van bres EB_41 bij huidig traject (links) en nieuw traject (rechts) van compartimenteringskering (9) bij IJsselmonde.	18
Figuur 10:	Doorbraak breslocatie EB_62 in dijkkring 17, IJsselmonde voor IRV5 (links) en IRV6 (rechts).	19
Figuur 11:	Economische schade dijkkring 17 IJsselmonde.	19
Figuur 12:	Economisch risico dijkkring 17, IJsselmonde.	20
Figuur 13:	Economisch risico dijkkring 17, IJsselmonde, uitgesplitst in materiële schade en economische schade van slachtoffers en getroffen (faalkans referentiesituatie).	21
Figuur 14:	LIR-kaarten dijkkring 17 (IJsselmonde) op basis van de faalkans in de referentiesituatie.	24
Figuur 15:	LIR-kaarten dijkkring 17 (IJsselmonde) op basis van DPV-norm.	25
Figuur 16:	Modelschematisatie dijkkring 20 (Voorne-Putten).	27
Figuur 17:	Externe bressen dijkkring 20 (Voorne-Putten).	28
Figuur 18:	Economische schade dijkkring 20, Voorne-Putten.	30
Figuur 19:	Economisch risico dijkkring 20, Voorne-Putten.	31
Figuur 20:	Economisch risico dijkkring 20, Voorne-Putten, uitgesplitst in materiële schade en economische schade van slachtoffers en getroffen (faalkans referentiesituatie).	32
Figuur 21:	LIR-kaarten dijkkring 20 (Voorne-Putten) op basis van de faalkans in de referentiesituatie (kolom links) en volgens DPV-norm (kolom rechts).	35
Figuur 22:	LIR-kaarten dijkkring 20 (Voorne-Putten) op basis van de faalkans in de referentiesituatie (kolom links) en volgens DPV-norm (kolom rechts) met nieuwe trajectindeling.	36
Figuur 23:	Modelschematisatie dijkkring 21 (Hoekse Waard).	39
Figuur 24:	Externe bressen dijkkring 21 (Hoekse Waard).	40
Figuur 25:	Extra inrichtingsvarianten dijkkring 21, Hoekse Waard.	41
Figuur 26:	Economische schade dijkkring 21, Hoekse Waard.	42
Figuur 27:	Economisch risico dijkkring 21, Hoekse Waard.	43
Figuur 28:	Economisch risico dijkkring 21, Hoekse Waard, uitgesplitst in materiële schade en economische schade van slachtoffers en getroffen (faalkans referentiesituatie).	44
Figuur 29:	LIR-kaarten dijkkring 21 (Hoekse Waard) op basis van de faalkans in de referentiesituatie.	47
Figuur 30:	LIR-kaarten dijkkring 21 (Hoekse Waard) op basis van de DPV-norm.	48
Figuur 31:	Modelschematisatie dijkkring 22 (Eiland van Dordrecht).	51
Figuur 32:	Externe bressen dijkkring 22 (Eiland van Dordrecht).	52
Figuur 33:	Extra inrichtingsvarianten dijkkring 22, Eiland van Dordrecht (IRV4, 5 en 6).	54
Figuur 34:	Extra inrichtingsvarianten dijkkring 22, Eiland van Dordrecht (IRV7, en 8).	55
Figuur 35:	Economische schade dijkkring 22, Eiland van Dordrecht.	56
Figuur 36:	Economisch risico dijkkring 22, Eiland van Dordrecht.	57
Figuur 37:	Economisch risico dijkkring 22, Eiland van Dordrecht, uitgesplitst in materiële schade en economische schade van slachtoffers en getroffen (faalkans referentiesituatie).	57

Figuur 38:	LIR-kaarten dijkkring 22 (Eiland van Dordrecht) op basis van de faalkans in de referentiesituatie	61
Figuur 39:	LIR-kaarten dijkkring 22 (Eiland van Dordrecht) op basis van de DPV-norm.....	62
Figuur 40:	Modelschematisatie dijkkring 25 (Goeree-Overflakkee).	65
Figuur 41:	Externe bressen dijkkring 25 (Goeree-Overflakkee).	66
Figuur 42:	Dijkkring 25 Goeree-Overflakkee, inrichtingsvariant 4.....	67
Figuur 43:	Economische schade dijkkring 25, Goeree-Overflakkee.	68
Figuur 44:	Economisch risico dijkkring 25, Goeree-Overflakkee.	68
Figuur 45:	Economisch risico dijkkring 25, Goeree-Overflakkee, uitgesplitst in materiële schade en economische schade van slachtoffers en getroffen (faalkans referentiesituatie).	69
Figuur 46:	LIR-kaarten dijkkring 25 (Goeree-Overflakkee) op basis van de faalkans in de referentiesituatie.	71
Figuur 47:	LIR-kaarten dijkkring 25 (Goeree-Overflakkee) op basis van de DPV-norm.	72
Figuur 48:	Effect grondprijs op de investeringskosten.	77
Figuur 49:	Eén- en tweedimensionale laag in SOBEK (bron figuur: SOBEK helpfile).	89
Figuur 50:	Terreinhoogte binnen het dijkkringgebied Hoekse Waard.	90
Figuur 51:	Schematisch overzicht van de verschillende stappen van automatische bresgroei (aangepast uit de SOBEK helpfile).....	92
Figuur 52:	Buitenbres in SOBEK.	93
Figuur 53:	Binnenbres in SOBEK.	94

1 Inleiding

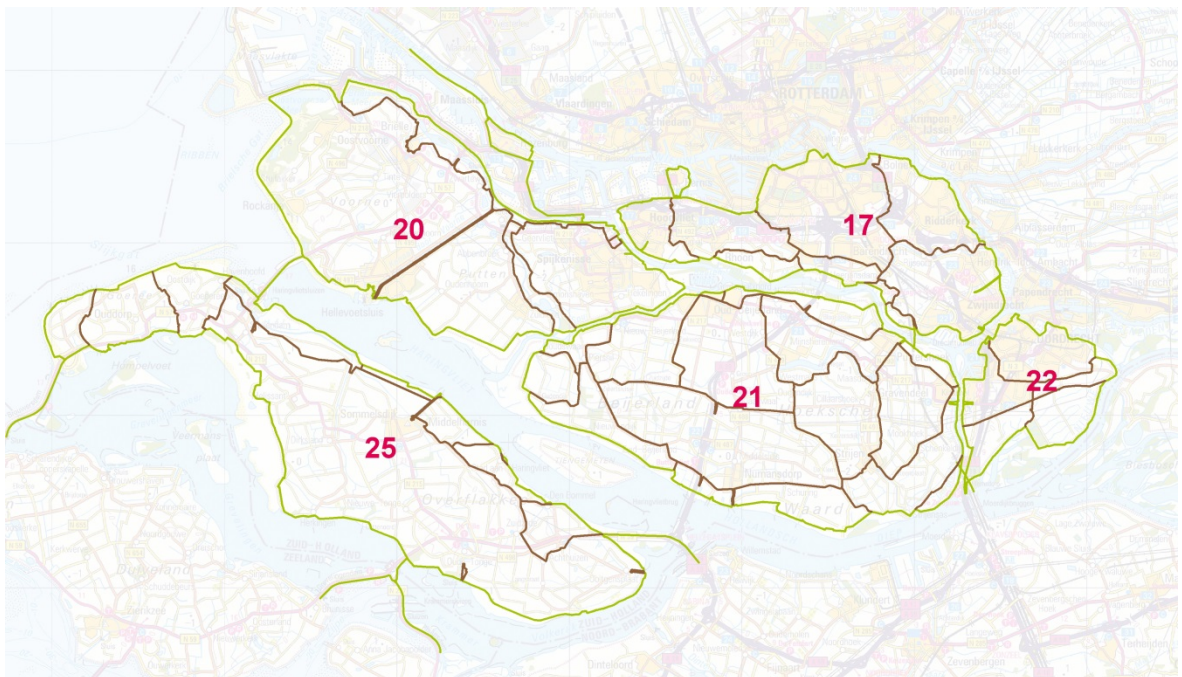
1.1 Aanleiding tot het project

Veiligheid tegen overstromen is cruciaal voor grote delen van Nederland. Binnen het stelsel van waterkeringen hebben van oudsher de keringen die direct het buitenwater keren, de primaire waterkeringen, volop de aandacht. Ook de andere keringen zijn belangrijk voor het waarborgen van de veiligheid tegen overstromen. Om die reden is besloten ook de belangrijkste niet-primaire waterkeringen, de regionale keringen, te normeren.

Het betreft:

- boezemkaden en keringen langs regionale rivieren;
- compartimenteringskeringen of droge keringen, die pas functioneren na het falen van een primaire kering;
- voorlandkeringen die buitenwater keren maar geen primaire keringen zijn.

In de Waterwet is vastgelegd dat de provincies deze normen moeten vaststellen. Invoering van deze normering verloopt stapsgewijs. Binnen de provincie Zuid-Holland zijn inmiddels de boezemkaden genormeerd. In het "Provinciaal Waterplan Zuid-Holland 2010 - 2015" (Provincie Zuid-Holland, 2009) is vastgelegd dat ook de compartimenteringskeringen en voorlandkeringen worden genormeerd. De normen worden uiteindelijk in de waterverordeningen van de waterschappen opgenomen en zijn daarmee bindend voor de waterschappen.



Figuur 1: Dijkringen 17, 20, 21, 22 en 25.

In het voorjaar van 2010 is het proces gestart om nut en noodzaak van het aanwijzen en normeren van compartimenteringskeringen en de voorlandkeringen van de dijkringen Centraal Holland (14), Goeree-Overflakkee (25) en het Eiland van Dordrecht (22) te onderzoeken. Deze vorige fase van het onderzoek heeft plaatsgevonden in nauwe samenwerking met de betrokken waterschappen en de aangrenzende provincies waarbinnen deze waterschappen eveneens liggen. De resultaten van het onderzoek voor de voorlandkeringen zijn in december 2011 opgeleverd en de resultaten voor de compartimenteringskeringen in juli 2012 (DHV, 2012).

Het voorliggende rapport heeft betrekking op de dijkringen 17 (IJsselmonde), 20 (Voorne-Putten), 21 (Hoekse Waard), 22 (Eiland van Dordrecht) en 25 (Goeree-Overflakkee) in het beheergebied van waterschap Hollandse Delta (zie Figuur 1). Het onderzoek naar nut en noodzaak richt zich op de bestaande keringen gelegen binnen deze dijkringen, die als compartimenteringskering in de legger van het waterschap zijn opgenomen. In de eerdere fase van het onderzoek zijn de dijkringen 22 en 25 reeds onderzocht. Er is besloten in deze fase van het onderzoek deze dijkkring ook weer op te nemen. De reden hiervoor is dat:

1. De overstromingsmodellen voor alle dijkringen in het beheergebied van waterschap Hollandse Delta worden vernieuwd.
2. De analyse nu volgens twee methoden plaatsvindt:
 - a. Methode 1 is conform de aanpak in de vorige fase (gebaseerd op de Richtlijn Normering compartimenteringskeringen),
 - b. Methode 2 sluit aan op de WV21 methode, waarmee ook in het Deltaprogramma wordt gewerkt. Dit is in de vorige fase niet gedaan.

Door voor de dijkringen 22 en 25 methode 1 uit te voeren met nieuwe overstromingsmodellen, wordt bereikt dat alle dijkringen in het beheergebied van Hollandse Delta op eenduidige manier zijn beschouwd.

De studie behandelt de consequenties van de onderzochte inrichtingsvarianten van compartimenteringskeringen als basis om compartimenteringskeringen te kunnen aanwijzen. Dit rapport biedt de benodigde informatie om bestuurlijke besluitvorming over het aanwijzen en normeren van compartimenteringskeringen te kunnen uitvoeren. In een volgende fase kunnen keuzes voor compartimenteringskeringen worden onderbouwd. Indien nodig kunnen voortschrijdende inzichten rondom de normering van waterkeringen worden meegenomen in de verdere uitwerking.

Het rapport is een bouwsteen voor het aanwijzen en normeren van compartimenteringskeringen en biedt de benodigde informatie en feiten om de volgende stappen in dit proces te kunnen uitvoeren. Het rapport is daarmee een noodzakelijk tussenproduct.

1.2 Doelstelling

De doelstelling van dit onderzoek is om nut en noodzaak van compartimenteringskeringen in dijkringen 17, 20, 21, 22 en 25 te bepalen.

Het nut van compartimenteringskeringen wordt bepaald in een economische afweging. Noodzaak van compartimenteringskeringen wordt hierbij gedefinieerd dat deze keringen nodig zijn om de toekomstige norm van 10^{-5} per jaar voor het lokaal individueel risico (LIR) in de dijkkring te realiseren. Hierbij wordt gekeken naar de faalkans van de primaire keringen in de referentiesituatie en naar de situatie met de, door het Deltaprogramma, berekende normen aan de primaire keringen.

Voor het bepalen van nut en noodzaak van compartimenteringskeringen is gebruik gemaakt van overstromingsmodellen van de dijkringen. Deze nieuwe modellen zijn als onderdeel van de studie in samenwerking met de provincie Zuid-Holland en het waterschap Hollandse Delta gerealiseerd. Alvorens de modellen toe te passen voor het berekenen van nut en noodzaak van de compartimenteringskeringen zijn deze door de betrokken partijen getoetst en vastgesteld. Modellen, overstromingsberekeningen en documentatie zijn op een externe harde schijf opgeleverd aan de provincie.

1.3 Leeswijzer

Na deze inleiding wordt in hoofdstuk 2 de gevolgde methodiek en werkwijze in het project beschreven en worden de achtergronden gegeven van de gehanteerde methoden. De resultaten worden per dijkkring gepresenteerd, waarbij de numerieke volgorde van de dijkringen is aangehouden. Dit betekent voor de hoofdstukken 3 tot en met 7:

- Hoofdstuk 3 behandelt dijkkring 17, IJsselmonde;
- Hoofdstuk 4 behandelt dijkkring 20, Voorne-Putten;
- Hoofdstuk 5 behandelt dijkkring 21, Hoekse Waard;
- Hoofdstuk 6 behandelt dijkkring 22, Eiland van Dordrecht;
- Hoofdstuk 7 behandelt dijkkring 25, Goeree-Overflakkee.

Per dijkkring wordt steeds een korte beschrijving van het dijkkringgebied gegeven met de beschouwde inrichtingsvarianten, gevolgd door de resultaten van de berekeningen. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een analyse van de resultaten.

Vervolgens wordt een discussie gevoerd over de betekenis, nauwkeurigheid en gevoeligheid van de resultaten in hoofdstuk 8. De behandelde onderwerpen in dit hoofdstuk reflecteren de onderwerpen van de discussies die gedurende het onderzoek zijn gevoerd over de compartimenteringsstudie. De resultaten worden in hoofdstuk 9 samengevat met conclusies en aanbevelingen. Referenties en geraadpleegde literatuur staan vermeld in hoofdstuk 10.

De gebruikte afkortingen zijn toegelicht in Bijlage A. Bijlage B geeft een korte beschrijving van de bouw van het overstromingsmodel.

Opmerking

In de rapportage zijn vanwege consistentie en opmaak van de rapportage de nieuwe inrichtingsvarianten hernoemd ten opzicht van de oorspronkelijke vraagstelling en uitvoering van berekeningen (Sobek-cases). Dit betreft:

- Dijkkring 17: IRV7 is oorspronkelijk aangeduid als IRV7a
- Dijkkring 17: IRV8 is oorspronkelijk aangeduid als IRV7b.
- Dijkkring 20: IRV4 is oorspronkelijk aangeduid als IRV7.
- Dijkkring 21: IRV4 is oorspronkelijk aangeduid als IRV7.

2 Werkwijze en methodiek

In dit hoofdstuk wordt de werkwijze en de methodiek beschreven van achtereenvolgens de modelbouw, de overstromingsberekeningen, de schade- en slachtofferberekeningen en de kosten- en batenanalyse.

2.1 Kansen van overstroming

Voor de kansen van overstroming worden twee situaties onderscheiden: de overstromingskansen in de referentiesituatie en volgens de DPV-norm. Een dijkkring is opgedeeld in twee of meer dijktrajecten, conform de DPV systematiek (DPV, 2014). Een dijktraject representeert een aaneengesloten deel van de primaire waterkering met een overeenkomstig overstromingsrisico. Per dijktraject is de overstromingskans bekend:

- Referentiesituatie gedefinieerd als de verwachte overstromingskans in 2015 na uitvoering van Ruimte voor de Rivier en HWBP2-projecten;
- DPV-norm ontleend aan Deltaprogramma Veiligheid (DPV, 2014), zoals gepresenteerd op Prinsjesdag 2014.

2.2 Gevolgen

2.2.1 Overstromingsmodellen

Voor de studie zijn nieuwe overstromingsmodellen vervaardigd voor dijkkring 17, 20, 21, 22 en 25. De oude modellen (HKV, 2005) zijn hiervoor als basis gebruikt. De veranderingen ten opzichte van de oude modellen betreffen het hoogtetgrid, het ruwheidsgrid, het 1D netwerk en de interne en externe bressen.

- Het nieuwe hoogtetgrid (met een resolutie van 50 bij 50 meter) is gebaseerd op AHN2 0,5x0,5 meter en daarom zijn het maaiveld en de hoge lijnelementen nauwkeuriger weergegeven dan voorheen.
- Het nieuwe ruwheidsgrid bevat de meest recente informatie over het landgebruik LGN6 (gebaseerd op 2008).
- De 1D schematisatie uit het oude model is op verschillende punten uitgebreid. In overleg met provincie en waterschap is een selectie gemaakt van tunnels, duikers en waterlopen die aan het model zijn toegevoegd.
- Er is een groter aantal externe bressen (bressen in de primaire kering) gedefinieerd. De bresparameters zijn opnieuw afgeleid.
- Er is een groter aantal interne bressen gedefinieerd. De locaties voor de bressen zijn gekozen op lage punten binnen het stelsel van hoge lijnelementen.

De nieuwe overstromingsmodellen zijn separaat aan de provincie Zuid-Holland opgeleverd.

2.2.2 Overstromingsberekeningen

Met deze overstromingsmodellen zijn overstromingsberekeningen uitgevoerd voor alle breslocaties, waarbij het in alle gevallen gaat om enkelvoudige dijkdoorbraken. De gevolgen zijn berekend voor twee verschillende hydraulische belastingen, namelijk toetspeil (T_p) en toetspeil plus éénmaal de decimeringshoogte (T_p+D) op basis van de Hydraulische Randvoorwaarden 2006 (HR2006).

Per dijkkring is het nut en de noodzaak van compartimenteringskeringen onderzocht. Het betreft keringen binnen de dijkkring die door de provincie Zuid-Holland en het waterschap Hollandse Delta zijn aangewezen als potentiële compartimenteringskeringen. Voor elke dijkkring geldt de huidige inrichting als referentie. Hierin hebben de compartimenteringskeringen de huidige hoogte. De compartimenteringskeringen worden niet standzeker verondersteld. Als de waterdiepte op de kruin meer is dan 15 cm, dan ontstaat er een interne bres met een vaste bresbreedte van 50 meter.

Vervolgens zijn inrichtingsvarianten gedefinieerd voor de compartimenteringskeringen. De hoogte van de compartimenteringskering is hierin de variabele. In de verschillende varianten kunnen compartimenteringskeringen zijn afgegraven of juist verhoogd. Vervolgens worden de kosten en baten van de varianten met elkaar vergeleken. Per dijkkring zijn minimaal de volgende twee varianten gedefinieerd:

- IRV hoog: De compartimenteringskeringen zijn of worden op voldoende hoogte gebracht en worden standzeker verondersteld. Er kunnen geen interne bressen optreden in de compartimenteringskeringen. Om overstroming te voorkomen zijn de compartimenteringskeringen in het model opgehoogd tot 10 meter hoogte. De benodigde dijkverhoging volgt uit de maximaal optredende waterstand langs de kering.
- IRV geen: De compartimenteringskeringen krijgen de hoogte van het omliggende maaiveld. Compartimenteringskeringen langs boezemwater krijgen de hoogte van de boezemkade.

Voor een aantal dijkringen zijn extra inrichtingsvarianten gedefinieerd, die een combinatie zijn van bovengenoemde. Hierin kunnen bijvoorbeeld enkele compartimenteringskeringen zijn opgehoogd en andere compartimenteringskeringen juist verlaagd of behouden in de huidige staat.

2.2.3 Schade en slachtoffers

Economische schade

De economische gevolgen door schade, dodelijke slachtoffers en getroffen en getroffen bij een doorbraak zijn met de schade- en slachtoffermodule HIS-SSM (versie 2.5) berekend. De economische gevolgen zijn berekend voor het zichtjaar 2050. Er zijn hierbij dezelfde uitgangspunten als in de MKBA WV21 gehanteerd (Kind et al., 2011).

HIS-SSM berekent de schade voor het jaar 2006, welke eerst naar het basisjaar 2000 (startjaar DPV studie) wordt teruggerekend, rekening houdend met een economische groei van 2% tussen 2000 en 2006. De schade in 2011 is gelijk aan de schade in 2000 * 1,4 (inflatie 2000-2011) * 1,6 (schadeopslag van 50% +10% risicopremie). Voor de omrekening van schade in 2011 naar schade in 2050 wordt uitgegaan van een economische groei van 1,9% per jaar.

Het totale schadebedrag bevat ook de economische waarde van de slachtoffers en getroffen. Hierin is voor de monetair kosten van een mensenleven uitgegaan van 6,7 mln € en voor getroffen een compensatie van € 12.500,-. De berekende slachtoffers en getroffen gelden voor het jaar 2000. De aantallen zijn omgerekend naar 2011 rekening houdend met een bevolkingsgroei van 5% tussen 2000 en 2011. De monetair kosten worden vervolgens omgerekend naar 2050, rekening houdend met een economische groeifactor van 1,9% per jaar.

De gevolgen van een doorbraak zijn bepaald op basis van twee overstromingsscenario's: een overstroming bij toetspeil (TP) en een overstroming bij toetspeil plus een decimeringshoogte

(TP+1D: een waterstand met een factor 10 kleinere kans van voorkomen dan de kans behorend bij het toetspeil). Per normtraject wordt een gewogen schadebijdrage berekend over beide scenario's. De economische gevolgen van een overstroming bij toetspeil worden voor alle doorbraaklocaties gewogen naar rato van de lengte van het ringdeel waarin de bres ontstaat ten opzichte van de totale lengte van het normtraject. Deze gewogen gemiddelde economische schade bij toetspeil draagt voor 80% bij aan het risico. De resterende 20% wordt bepaald door het zogeheten 'worst case scenario'. Dit is de som van de schadebedragen van alle dijkdoorbraken bij TP+1D binnen het normtraject. Indien er in bepaalde gebieden overlap is van overstromingen vanuit verschillende bressen, wordt op gridcelniveau het maximale schadebedrag geselecteerd. Dit levert een gewogen gevolg in economische schade, slachtoffers en getroffen en over beide scenario's. Conform de aanpak van de MKBA WV21 studie worden voor dijkkring 25 de gevolgen bij toetspeil voor 60% meegerekend.

De resultaten per bres worden in dit rapport, enkele uitzonderingen daargelaten, niet vermeld omdat dit lange tabellen met resultaten betreft. De resultaten zijn digitaal beschikbaar bij de provincie¹.

Economisch risico

Het economisch risico wordt berekend door per DPV-traject de totale schade te vermenigvuldigen met de overstromingskans en vervolgens een sommatie uit te voeren over alle DPV-trajecten. Dit geeft voor het dijkkringgebied de verwachte schade per jaar door overstroming.

De berekende gevolgen zijn weergegeven als exacte getallen, om de inrichtingsvarianten met elkaar te kunnen vergelijken. Voor de absolute grootte van de gevolgen moet rekening worden gehouden met onzekerheden (zie H8.3).

2.3 Kosten compartimenteringskeringen

Voor de kosten van compartimenteringskeringen is onderscheid gemaakt in de investeringskosten (in geval van volledig kerende waterkering) en kosten voor beheer en onderhoud. De kosten voor beheer en onderhoud zijn gebaseerd op informatie van het Hoogheemraadschap van Delfland (Janssen en Vermeulen, 2014) en onderschreven door het waterschap Hollandse Delta; de investeringskosten zijn berekend met het kostenmodel voor compartimenteringskeringen (van Dam en van Drunen, 2014) dat is gebaseerd op de kostenmodule KOSWAT (Deltares, 2013).

2.3.1 Investeringskosten

In de berekening van de investeringskosten worden de compartimenteringskeringen gecategoriseerd op basis van kostenonderscheidende aspecten zoals de aanwezigheid van bebouwing (nabij of op de compartimenteringskering), de oplossingsvrijheid (bebouwing aan één of weerszijden van de compartimenteringskering) en de aanwezigheid van wegen. De versterkingsopgave wordt gedreven door de verhogingsopgave. Deze is eenduidig vast te stellen op basis van uitkomsten van de overstromingssommen en de aanwezige kruinhoogte zoals opgenomen in het inundatiemodel. Er geldt:

$$\text{Versterkingsopgave} = \text{Inundatieniveau} + \text{waakhoogte} - \text{huidige kruinhoogte}$$

¹ Deze DVD is met het eindrapport opgeleverd.

Het inundatieniveau wordt berekend door per gridcel de maximale waterhoogte langs beide zijden van de kering te bepalen uit alle overstromingsberekeningen (TP en TP+1D). De benodigde waakhoogte is afhankelijk van de strijklengte, de helling van het buitentalud en het te accepteren overslagdebiet. Voor regionale keringen ligt de waakhoogte tussen de ½ en 1 meter².

De hoogte van de huidige compartimenteringskering ten opzichte van het omliggende maaiveld is van belang om de kosten te bepalen. De kosten van een verhoging ΔH nemen toe naarmate de oorspronkelijke compartimenteringskering hoger is. Per categorie compartimenteringskering is een kostenrelatie opgesteld welke afhankelijk van de oorspronkelijke dijkhoogte en de versterkingsopgave in een eenheidsprijs voorziet. Hiervoor is een afgeleide KOSWAT-module van Deltares ingezet (prijspeil 2013)³.

Faalmechanismen als piping/heave, stabiliteit en bekleding worden niet expliciet meegenomen in de versterkingsopgave. De daarvoor benodigde gegevens (profielen, bodemopbouw, grondparameters) vergen een dusdanige mate van detail dat deze in een vervolgstap op deze studie moeten worden beschouwd. De faalmechanismen zijn impliciet in het kostenmodel meegenomen doordat gerekend is met een standaard dijkontwerp met een taludhelling van 1:3. Dit talud is volgens de waterkering beheerder minder steil dan de meeste keringen in het gebied. In de meeste situaties leidt dit tot een stabiel talud. Bij versterking is rekening gehouden met het aanbrengen van een nieuwe toplaag zodat de versterkte keringen voldoende erosiebestendig zijn.

In het kostenmodel worden de volgende uitgangspunten gehanteerd⁴:

- Bij de berekening van de investeringskosten voor de compartimenteringskeringen is uitgegaan van een halve meter waakhoogte.
- Eventuele aanpassingen aan (waterkerende) kunstwerken zijn niet meegenomen in de kostenberekening (geen informatie toegeleverd over eventueel benodigde aanpassingen);
- Lokale "specials" (maatwerk, bijvoorbeeld vanwege cultuurhistorische waarden) zijn niet meegenomen in de kostenberekening;
- Maatregelen worden in eerste instantie getroffen in grond. Het kostenmodel hanteert voor de volumeberekening een talud van 1:3. Daar waar binnen 20 meter van de dijk kruin bebouwing aanwezig is wordt gerekend met constructieve maatregelen (scherm of damwand);
- Voor grondprijzen in de bebouwde kom worden hogere prijzen gehanteerd dan in landelijk gebied (van Dam en van Drunen, 2014);
- Kosten voor het verleggen van kabels en leidingen zitten als opslagfactor in de eenheidsprijzen;
- Het kostenmodel houdt geen rekening met amoveren van gebouwen en onteigeningskosten;
- Het verleggen van leidingenkruisingen is separaat geprijsd.

² Waterschap Hollandse Delta geeft aan dat voor binnenkeringen een waakhoogte wordt gehanteerd van minimaal een halve meter met als bovengrens een meter (dit uitgangspunt is gebruikelijk bij de waterschappen).

³ In de kosten-baten afweging zijn de kosten geïndexeerd op 2015, consistent met de schadeberekening ten behoeve van de baten.

⁴ Op basis van de navolgende resultaten kan achteraf worden vastgesteld dat aanpassingen aan waterkeringen of zogenaamde 'specials' niet zal leiden tot andere conclusies.

2.3.2 Kosten voor beheer en onderhoud

Voor kosten van beheer en onderhoud van de compartimenteringskeringen wordt een jaarlijks bedrag van 5.000 euro per kilometer (€ 5 per meter) gehanteerd. Dit zijn ervaringsgetallen voor regionale keringen die worden onderschreven door het Waterschap Hollandse Delta en het Hoogheemraadschap van Delfland.

De kosten voor beheer en onderhoud worden op dezelfde wijze contant gemaakt als het economisch risico.

2.4 Kosten en baten

Het nut van een inrichtingsvariant wordt gewogen aan de verhouding tussen kosten en baten. De kosten zijn de investeringskosten om de betreffende inrichtingsvariant te realiseren en de kosten voor beheer en onderhoud. De baten zijn gedefinieerd als de afname van het economische risico ten opzichte van de huidige inrichting. Om de totale kosten te kunnen berekenen worden de kosten contant gemaakt voor het prijspeiljaar. Uitgegaan is van het jaar 2015 en er wordt gerekend over een oneindige tijdshorizon met een discontovoet van 5,5% (conform de DPV-systematiek).

2.5 Lokaal Individueel Risico

Het Lokaal Individueel Risico (LIR) is de jaarlijkse kans om te overlijden op een bepaalde locatie door een overstroming, rekening houdend met evacuatiemogelijkheden. In het normvoorstel voor de primaire waterkeringen is bepaald dat iedereen moet kunnen rekenen op ten minste dezelfde mate van basisveiligheid. Deze LIR-norm is vastgesteld op 10^{-5} (ofwel 1/100.000) per jaar.

In deze studie is de LIR-norm van 10^{-5} per jaar gehanteerd als eis voor de noodzaak van compartimenteringskeringen. Per DPV-traject is een LIR-kaart gemaakt en vervolgens zijn de kaarten gesommeerd tot een totale LIR kaart per inrichtingsvariant. Per inrichtingsvariant zijn LIR-kaarten gemaakt uitgaande van de faalkansen van de primaire keringen in de referentiesituatie en op basis van de overstromingskansen volgens de DPV-norm. In Tabel 1 staan de evacuatiefracties die zijn gehanteerd voor het bepalen van het LIR.

Dijkkring	Evacuatiefractie
17	0,1
20	0,1
21	0,1
22	0,1
25	0,2

Tabel 1: Evacuatiefracties per dijkkring conform DPV.

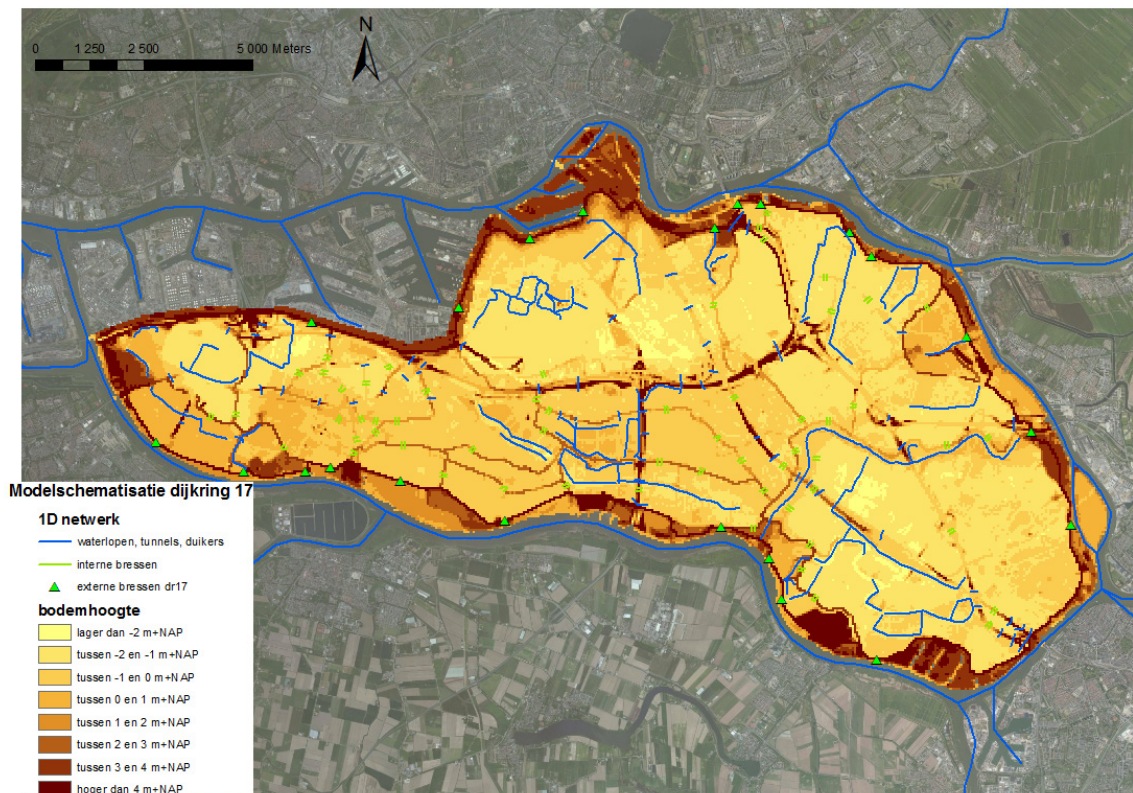
Het LIR is in deze studie bepaald op gridcelniveau. Hiermee is bewust afgeweken van de DPV-methode om basisveiligheid te berekenen, waarbij additioneel een filtering op landgebruik wordt uitgevoerd en een agregatie naar buurniveau (CBS). Dit wordt voor deze dijkringen niet toegepast, omdat er relatief grote postcodegebieden zijn, waarvan sommige zich over de compartimenteringskeringen uitstrekken. Gekeken is daarom naar het LIR op gridcelniveau, waarbij de resultaten 'door de oogharen' worden bekeken.

3 Dijkkring 17 - IJsselmonde

3.1 Algemeen

Dijkkring 17 IJsselmonde wordt omsloten door de Nieuwe Maas in het noorden, de Oude Maas in het zuiden en westen en de Noord aan de oostkant. Het gebied wordt gekenmerkt door een hoge mate van stedelijk gebied, infrastructuur en industrie. De bebouwingsdichtheid is het hoogst in het noordelijk deel van de dijkkring (Rotterdam-Zuid). Ook in het zuidelijk deel zijn een aantal grote woonkernen aanwezig (o.a. Barendrecht, Hoogvliet, Heerjansdam, Rhoon, Poortugaal, Zwijndrecht en Hendrik-Ido-Ambacht).

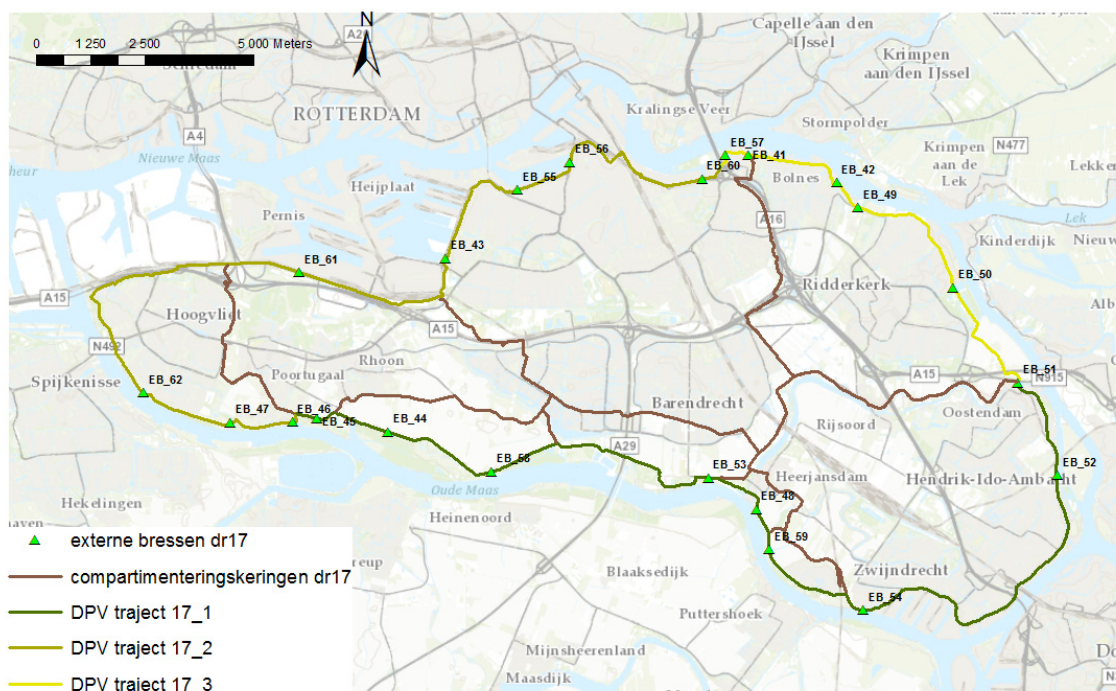
De buitendijkse haventerreinen in het noorden van dijkkring 17 bieden bescherming aan de primaire kering. De verwachting is dat bij een bres in de primaire kering het relatief hooggelegen haventerrein ervoor zorgt dat de bresdiepte beperkt blijft tot de hoogte van het haventerrein. Dit biedt extra bescherming aan Rotterdam-Zuid.



Figuur 2: Modelschematisatie dijkkring 17.

De modelschematisatie van dijkkring 17 is weergegeven in Figuur 2. De blauwe lijnen buiten de dijkkring betreffen de schematisatie van het NDB-model. De waterlopen binnen de dijkkring bestaan uit een selectie van waterlopen binnen het regionale watersysteem, aangevuld met kunstwerken die de hoge lijnelementen doorkruisen en daarmee het overstromingspatroon kunnen beïnvloeden. Dit zijn, onder andere, duikers en tunnels. Op de plaats van de groene lijnen zijn interne bressen gemodelleerd.

De externe bressen zijn weergegeven met een groene driehoek. De externe bressen zijn weergegeven in Figuur 3 (bestaande ligging van de compartimenteringskeringen). In de figuur zijn de DPV-dijktrajecten en de ligging van de compartimenteringskeringen aangegeven. DPV-traject 17-1 loopt vanaf de compartimenteringskering langs het Waaltje tot aan het punt waar de Albrandswaardse dijk aansluit op de primaire kering bij Poortugaal. DPV-traject 17-2 loopt van dit punt tot aan de Van Brienoordbrug en DPV-traject 17-3 van de Van Brienoordbrug tot aan de compartimenteringskering langs het Waaltje.



Figuur 3: Externe bressen, compartimenteringskeringen en DPV-trajecten dijkkring 17 (IJsselmonde).

In Tabel 2 zijn de overstromingskansen conform de DPV-norm uit het Deltaprogramma weergegeven (DPV, 2014) en de faalkansen van de dijktrajecten in de referentiesituatie zoals berekend in project VNK2.

Dijkkringtraject		DPV-norm [1/... per jaar]	faalkans referentiesituatie [1/... per jaar]
17-1	DPV1	3.000	1.949
17-2	DPV2	3.000	2.415
17-3	DPV3	100.000	10.214

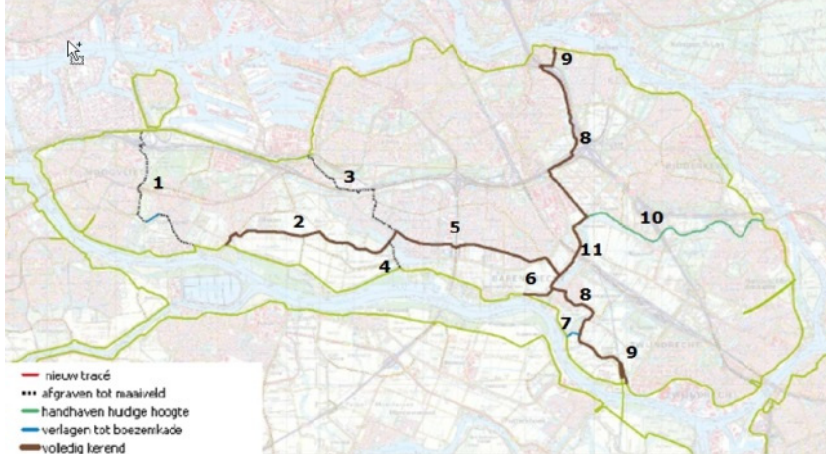
Tabel 2: Overstromingskansen dijkkring 17, IJsselmonde.

De door VNK2 berekende faalkans in de referentiesituatie van dijkkringgebied 17 is 1/1.000 per jaar. De kans op een overstroming in dijkkringgebied 17 wordt voornamelijk bepaald door de faalmechanismen 'opbarsten en piping' en 'beschadiging bekleding en erosie dijklichaam' (VNK2, 2010).

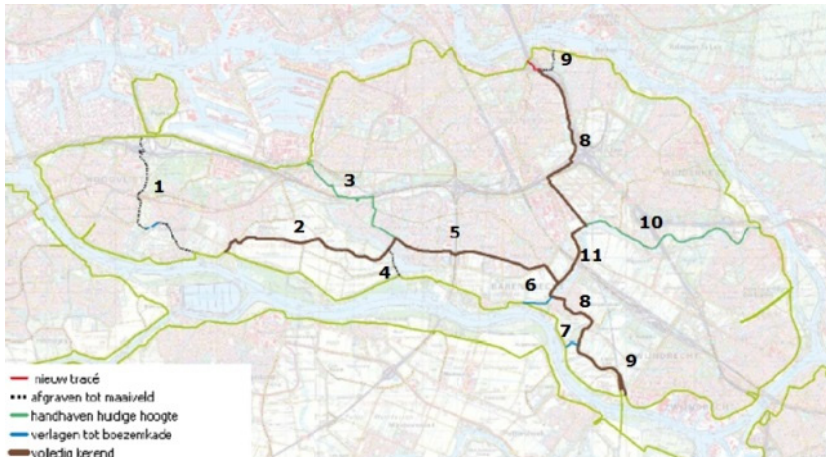
3.2 Inrichtingsvarianten

Naast de referentieberekening van de huidige inrichting van de compartimenteringskeringen (huidig) en de varianten zonder (geen) en met volledige kerende compartimenteringskeringen (hoog) zijn vijf inrichtingsvarianten van de compartimenteringskeringen doorgerekend.

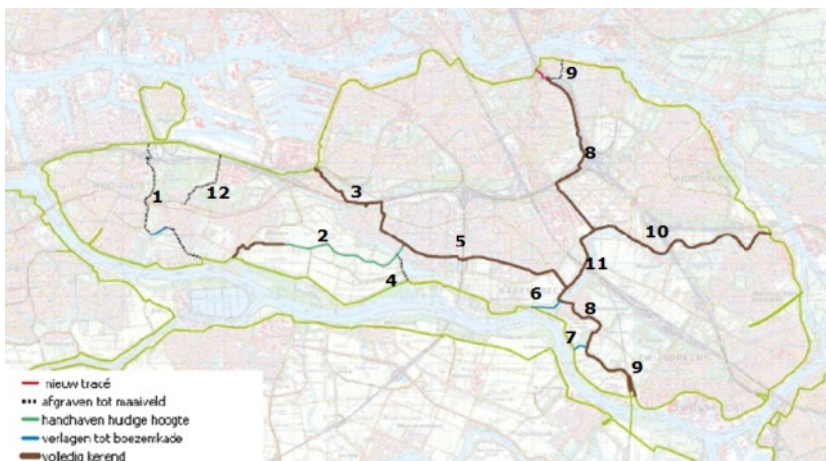
Dijkkring 17, IRV4

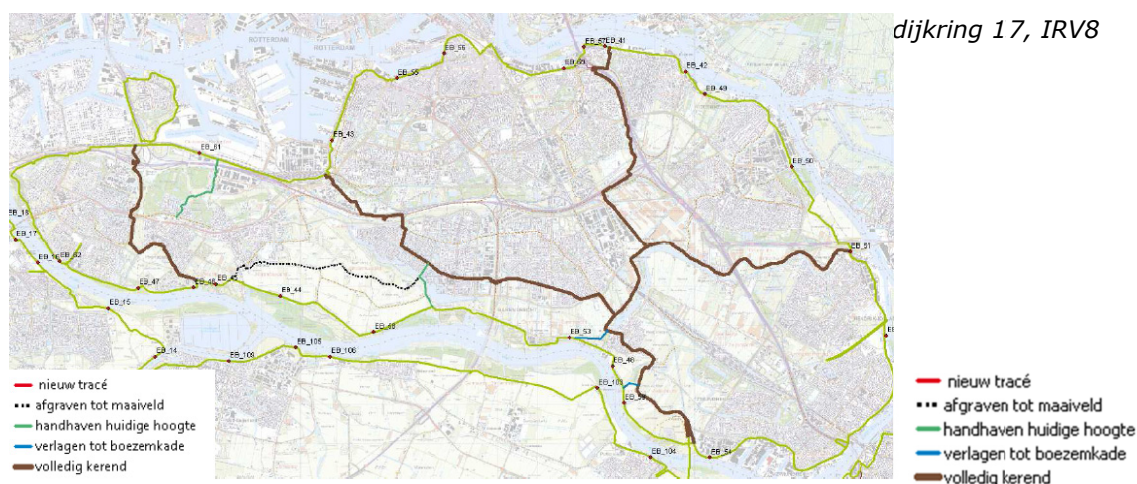


Dijkkring 17, IRV5



Dijkkring 17, IRV6





Figuur 4: Inrichtingsvarianten van dijkkring 17, IJsselmonde.

- IRV4 'kruis'
De compartimenteringskeringen oost van Hoogvliet (1) en west van stad Rotterdam (3) zijn verlaagd, met als doel om te onderzoeken of er minder gevolgen zijn door het samenvoegen van deze compartimenten. Daarnaast zijn de compartimenteringskeringen ten westen van Barendrecht (4) en ten zuiden van Heerjansdam (7) verlaagd. Hierdoor worden vier kleinere compartimenten samengevoegd tot twee grote, wat tot minder ernstige gevolgen zou kunnen leiden. Naast deze aanpassingen zijn de overige compartimenteringskeringen, met uitzondering van de noordelijke compartimenteringskering bij het Waaltje (10), als volledig kerend beschouwd.
- IRV5 'Stadsringen'
In deze inrichtingsvariant zijn de vier kleine compartimenten in het zuiden van dijkkring 17 samengevoegd tot één door verlagen van de compartimenteringskeringen (4), (6) en (7). Hiermee wordt onderzocht wat het effect is op de gevolgen in Barendrecht-zuid en Heerjansdam zuidwest.
Daarnaast is het noordelijke deel van de compartimenteringskering bij IJsselmonde (9) verlegd, waardoor Rotterdam-Zuid beter is beschermd, maar het oostelijke deel van de dijkkring juist minder. Rotterdam-Zuid heeft een hoge economische waarde en verwacht wordt dat het verleggen van de kering tot een lager economisch risico leidt. Bij de indeling van de DPV-trajecten lijkt te zijn geanticipeerd op een verlegging van de

compartimenteringskering, omdat de knip tussen 17_2 en 17_3 bij de Van Brienenoordbrug is gelegd en niet daar waar de compartimenteringskering aansluit op de primaire kering.

- **IRV6**
Deze inrichtingsvariant is gericht op de bescherming van Rotterdam-Zuid. Net als bij IRV5 is de compartimenteringskering bij IJsselmonde (9) verlegd en daarnaast is hier de compartimenteringskering ten westen van stad Rotterdam (3) verhoogd. In het zuidelijke deel is ook hier één groot compartiment gemaakt bij Barendrecht en Heerjansdam-Zuidwest (4), (6) en (7), met als verschil met IRV5 dat er ook overloop mogelijk is naar de polder van Rhoon (2). De noordelijke compartimenteringskering bij het Waaltje (10) is volledig kerend gemaakt, waardoor bij een enkelvoudige bres maximaal de helft van het oostelijke deel van de dijkkring overstroomt. Onderzocht wordt hoeveel ernstiger de gevolgen in dat geval zijn in het overstroomde gebied. De compartimenteringskering ten oosten van Hoogvliet is afgegraven (1), zoals bij IRV4. Het verschil met IRV 4 is hier dat ook de z.g. overige kering ten noorden van Poortugaal (12) is afgegraven. Het doel hiervan is om te weten te komen of het BRZO bedrijf Wilhelmsen Ships Service (Groothandel in chemische grondstoffen en chemicaliën) dan gevaar loopt.
- **IRV7 'volledig kruis'**
Dijkkringgebied wordt opgesplitst door een volledig kerend kruis, waardoor er vier compartimenten ontstaan. Bij de Van Brienenoordbrug blijft het huidige traject, oostelijk van de A16, gehandhaafd. Oost van de Hoogvlietkering is de kering (Albrandswaardsedijk, Welhoeksedijk, deeldijk Hoogvliet langs Duifhuisweg en Pernisseweg) verwijderd.
- **IRV8 'volledig kruis met splitsing oostelijk deel'**
De inrichtingsvariant is gelijk aan IRV7, maar de kering oostelijk van de Hoogvlietkering wordt juist volledig kerend waardoor er vijf compartimenten ontstaan.

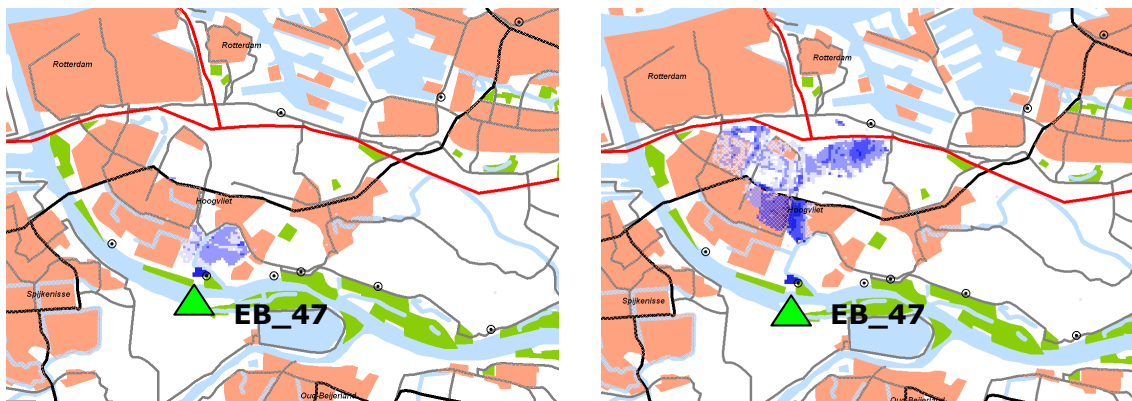
3.3 Resultaten

3.3.1 Gevolgen

Voor de inrichtingsvarianten is onderzocht wat het effect is van het verhogen of verlagen van specifieke keringen op de totale gevolgen. De vermelde bedragen zijn inclusief de monetaire waardering van slachtoffers en getroffen, berekend voor het zichtjaar 2050 (conform DPV-systematiek; DPV, 2014).

Inrichtingsvariant 4

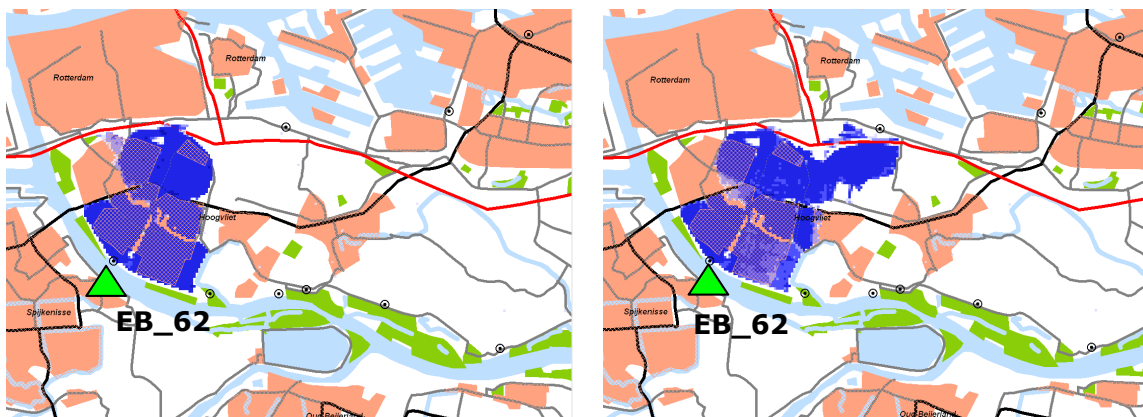
Het verlagen van de compartimenteringskering oost van Hoogvliet (1) zal het economisch risico verkleinen. De compartimenteringskering heeft effect op de overstrooming vanuit bres EB_47 en bres EB_62. De gevolgen van EB_47 nemen toe, doordat in de huidige inrichting alleen landbouwgebied overstroomt, en in IRV4 ook stedelijk gebied (Poortugaal, Rhoon). De schade bij toetspeil neemt toe van 8 miljoen euro (huidig) naar 935 miljoen euro (IRV4), zie Figuur 5.



Figuur 5: Doorbraak bij EB_47 voor huidige inrichting (links) en IRV4 (rechts).

Aan de andere kant neemt het gevolg van EB_62 af, doordat de waterstand in het stedelijk gebied lager is bij IRV 4, waarbij een groter oppervlak overstroomt in vergelijking met de huidige inrichting. De schade bij toetspeil van EB_62 is 6.851 miljoen euro (huidig) tegen 5.822 miljoen euro bij IRV4 (Figuur 6).

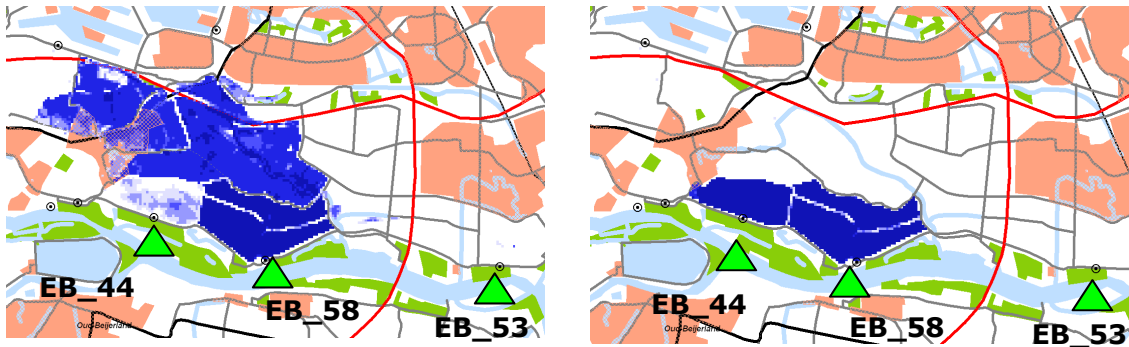
De kansbijdrage van een doorbraak vanuit EB_62 is echter vele malen groter dan vanuit EB_47 (op basis van de trajectlengtes behorend bij de bressen). Daarom weegt EB_62 zwaarder en kan worden geconcludeerd dat het economisch risico wordt verkleind als de compartimenteringskering wordt afgegraven.



Figuur 6: Doorbraak van bres EB_62 voor huidige inrichting (links) en IRV4 (rechts).

Verhogen kering (2) ten zuiden van Rhoon

Het verhogen van de compartimenteringskering (2) ten zuiden van Rhoon leidt tot fors minder schade bij een overstrooming vanuit de Oude Maas. In de huidige inrichting functioneert compartimenteringskering (2) als een overloop richting polder het Buitenland van Rhoon. Hierdoor overstroomt bij een doorbraak vanuit EB_58 ook een gedeelte van Rhoon, waardoor het schadebedrag oploopt tot 1.870 miljoen euro bij toetspeil (zie Figuur 7). Bij de inrichtingsvariant 'hoog' blijft Rhoon gespaard en bedraagt de schade 100 miljoen euro.



Figuur 7: Doorbraak van bres EB_58 voor de huidige inrichting (links) en voor inrichtingsvariant 'hoog' (rechts).

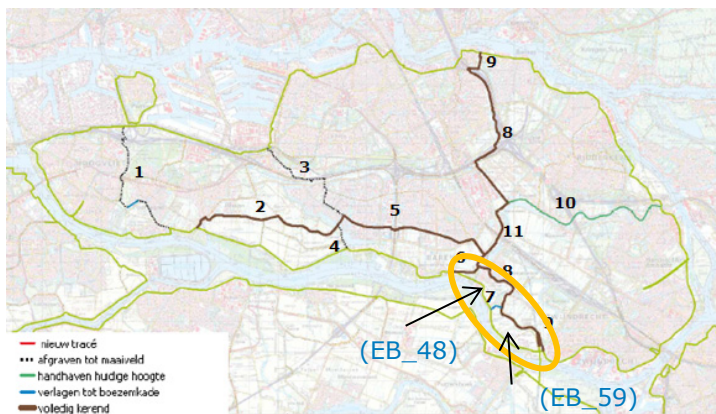
Verlagen van kering (4), zodat een groter compartiment ontstaat ten zuiden van Barendrecht
 Een groter compartiment ten zuiden van Barendrecht leidt tot hogere schadebedragen doordat de kans groter is dat de nieuwbouwwijken ten zuiden van Barendrecht overstromen. Bij inrichtingsvariant 'hoog' is er alleen wateroverlast in de nieuwbouwwijken bij overstroming vanuit EB_53 (918 miljoen euro bij toetspeil). Bij IRV4 is de schade bij overstroming vanuit EB_53 iets lager (773 miljoen euro). De schade bij doorbraken vanuit EB_44 en EB_58 nemen fors toe: EB_44 neemt toe van 87 miljoen euro naar 447 miljoen euro. EB_58 neemt toe van 100 miljoen euro naar 903 miljoen euro bij toetspeil.

Het is belangrijk om te realiseren dat het LIR fors toeneemt bij het verkleinen van deze compartimenten (zie paragraaf 3.3.4).

Verlagen kering bij Heerjansdam-Zuidwest

Door het creëren van een groter compartiment zal hier de schade toenemen.

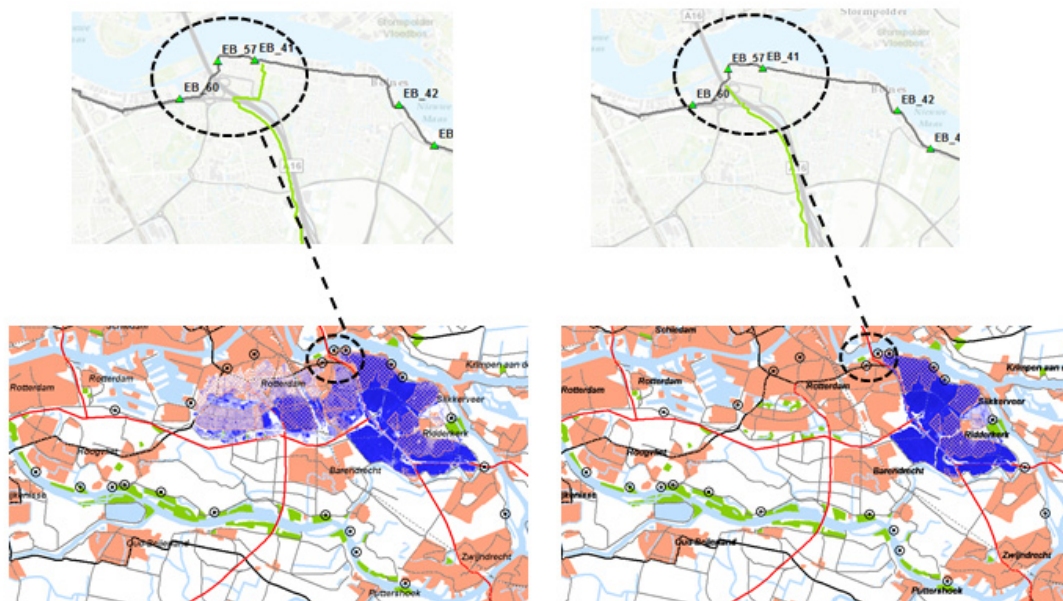
De schade bij bres EB_48 bij toetspeil bedraagt in de huidige inrichting 134 miljoen euro en bij EB_59 is de schade 11 miljoen euro. Door het samenvoegen van de compartimenten nemen de schadebedragen van beide bressen toe tot 144 miljoen euro (Figuur 8).



Figuur 8: Bressen binnen compartiment 'Heerjansdam-Zuidwest'.

Inrichtingsvariant 5

Het samenvoegen van alle kleine zuidelijke compartimenten heeft geen effect ten opzichte van de samenvoeging tot twee compartimenten zoals bij IRV4. De schadebedragen van de doorbraken binnen het grote compartiment (EB_44, EB_58, EB_53, EB_48 en EB_59) zijn namelijk gelijk voor IRV4 en IRV5.



Figuur 9: Overstroming van bres EB_41 bij huidig traject (links) en nieuw traject (rechts) van compartimenteringskering (9) bij IJsselmonde.

Het nieuwe traject biedt een betere bescherming van Rotterdam. Bij dijkdoorbraken in de huidige inrichting op de locaties EB_57 en EB_41 zal Rotterdam-Zuid grotendeels overstromen. Met het nieuwe tracé overstromt alleen het gebied ten oosten van de bres (Ridderkerk). De waterstanden zijn ongeveer gelijk, dus deze aanpassing is niet nadelig voor het oostelijke deel van de dijkkring (Figuur 9).

Inrichtingsvariant 6

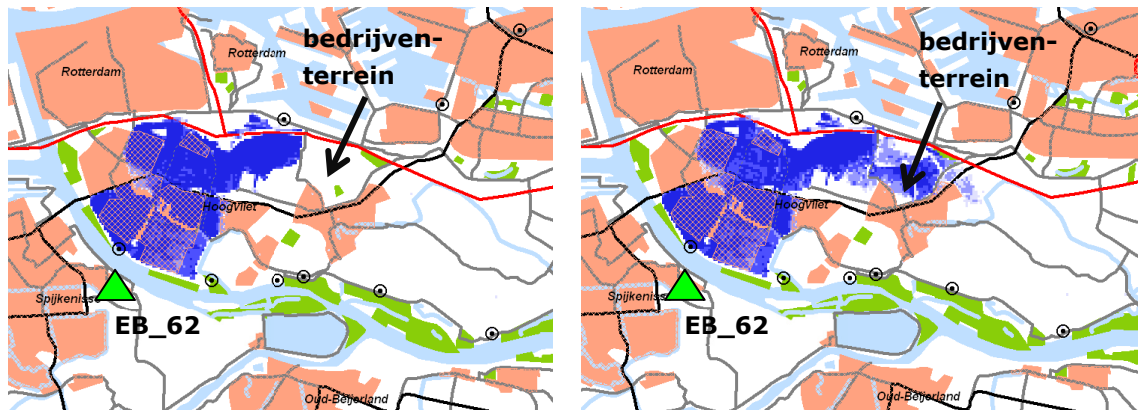
Het volledig kerend maken van de compartimenteringskering langs het Waaltje (10) leidt tot minder schade dan wanneer de compartimenteringskering overstroombaar is zoals in de huidige inrichting. Tabel 3 toont de schadebedragen bij toetspeil, voor de bressen in het oostelijke deel van de dijkkring. De schadevermindering is voornamelijk dankzij EB_42 en EB_49.

Breslocatie	IRV5 [mln €]	Schade IRV6 [mln €]	Vershil [mln €]
EB_41	15.448	13.221	2.227
EB_42	30.401	15.984	14.417
EB_49	31.246	16.803	14.443
EB_50	8.750	8.750	0
EB_51	172	164	8
EB_52	155	155	0
EB_54	11.126	11.126	0
EB_57	11.730	11.729	1

Tabel 3: Schadebedragen bij toetspeil voor bressen in het oostelijke deel van dijkkring 17 (IJsselmonde).

Verlagen overige keringen ten noorden van Poortugaal

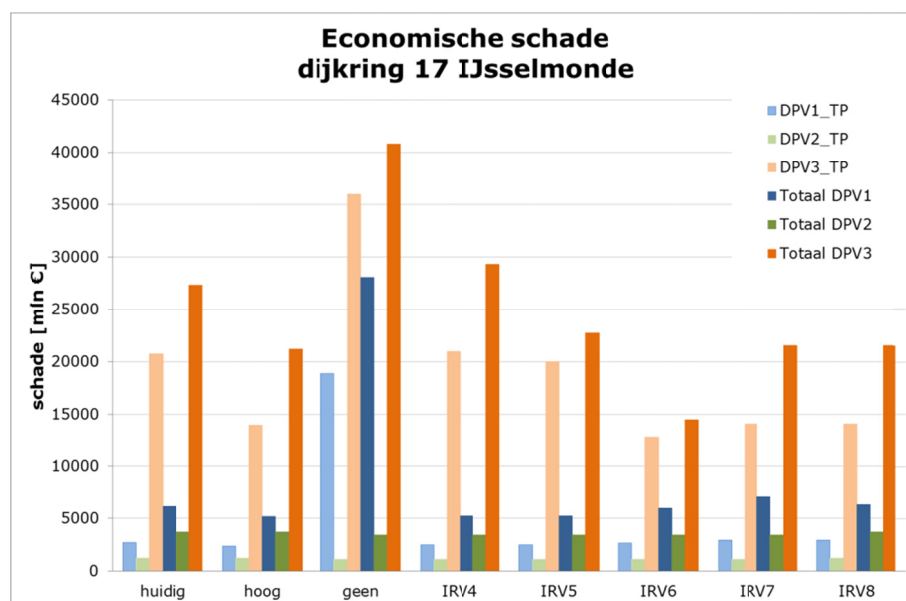
Het verlagen van de overige kering heeft tot gevolg dat het bedrijventerrein ten noorden van Rhoon overstroomt bij een doorbraak vanuit bres EB_62 bij toetspeil. De schade is in dat geval 5.870 miljoen euro. Bij de situatie van IRV 5, waar deze overige kering wel in stand is gehouden, is de schade 5.822 miljoen euro (Figuur 10).



Figuur 10: Doorbraak breslocatie EB_62 in dijkkring 17, IJsselmonde voor IRV5 (links) en IRV6 (rechts).

Economische schade

Figuur 11 toont de economische schade voor 2050, inclusief slachtoffers en getroffen, uitgesplitst per DPV-traject. Naast de totale schade is ook de schade bij toetspeil weergegeven.



Figuur 11: Economische schade dijkkring 17 IJsselmonde.

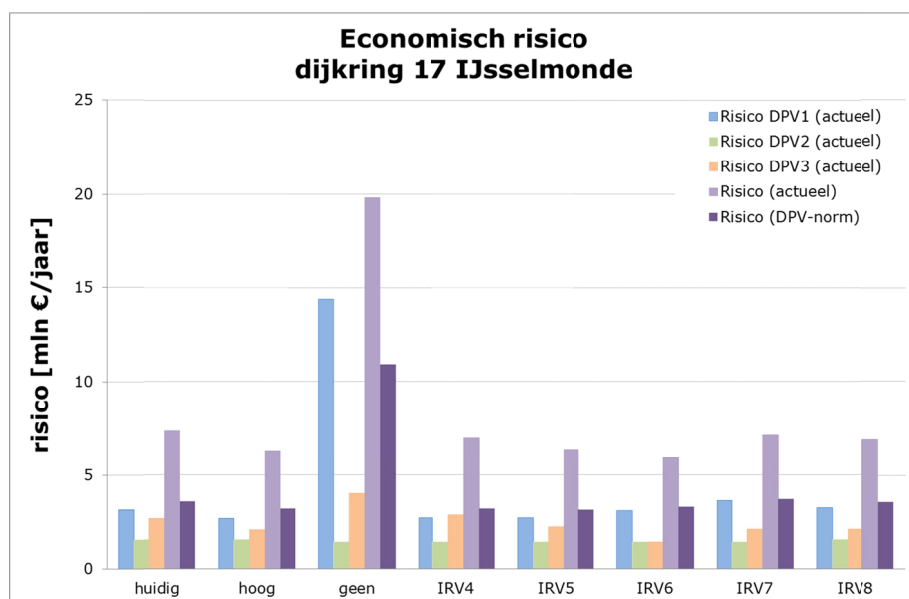
Een dijkdoorbraak binnen DPV-traject 17-3 zorgt voor de grootste schade doordat stedelijk gebied overstroomt (Ridderkerk en Rotterdam-Zuidoost) en in de primaire kering diepe bressen ontstaan door het ontbreken van voorlandbescherming. Ook in DPV-traject 17-2 ligt stedelijk gebied, maar hier is de schade veel lager omdat de keringen rond Rotterdam-Zuid worden beschermd door hooggelegen haventerrein. In DPV-traject 17-1 overstroomt voornamelijk landbouwgebied. De compartimenteringskeringen beschermen het stedelijke gebied. De waterdiepte, stroomsnelheid en stijgsnelheid is in deze kleine compartimenten wel relatief hoog.

Voor inrichtingsvariant 'geen' is de schade het grootst. Het stedelijk gebied wordt hier immers niet beschermd door compartimenteringskeringen. Een overstrooming vanuit de Oude Maas (vanuit het zuiden van dijkkring 17) treft in dat geval ook Rotterdam-Zuid.

Behalve voor de inrichtingsvariant 'geen' is de economische schade voor DPV-trajecten 17-1 en 17-2 min of meer gelijk. De verschillen liggen vooral in DPV-traject 17-3. IRV6 leidt tot de minste schade van de inrichtingsvarianten. Het verhogen van de compartimenteringskering langs het Waaltje en het verleggen van de compartimenteringskering bij IJsselmonde hebben hier een positief effect op de overstromingsschade.

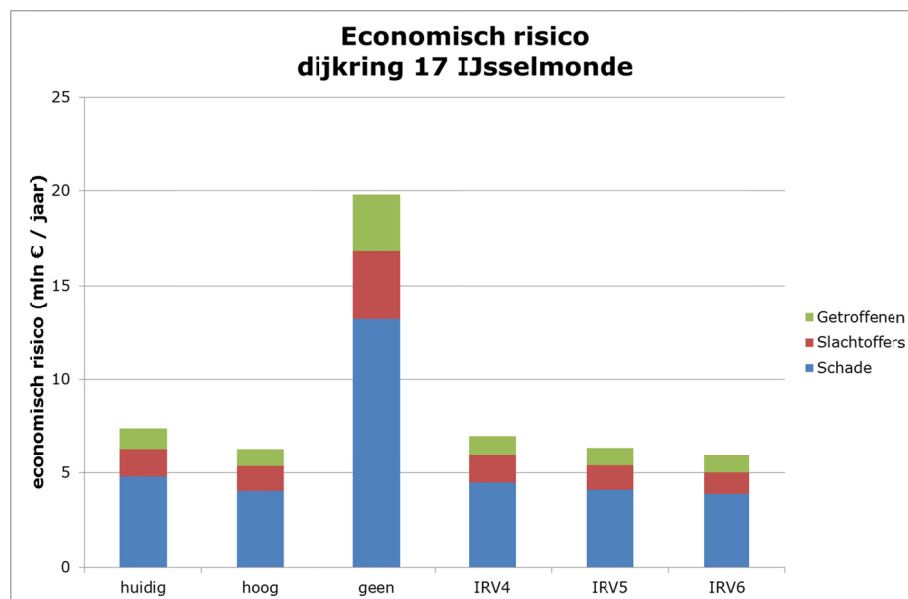
Economisch risico

Figuur 12 toont het economisch risico per inrichtingsvariant (berekend voor 2050, inclusief slachtoffers en getroffen). Doordat in de referentiesituatie de overstromingskans het grootst is, leidt dit tot de grootste risico's. Met uitzondering van de inrichtingsvarianten 'geen' zijn de risico's vrijwel gelijk. Door de (relatief) kleine overstromingskans van DPV-traject 17-3 is de bijdrage aan het risico vergelijkbaar met de andere DPV-trajecten (terwijl de economische schade door overstroming van dit traject veel hoger is dan bij de andere trajecten). IRV6 is vanuit oogpunt van het economisch risico het meest gunstig.



Figuur 12: Economisch risico dijkkring 17, IJsselmonde.

Figuur 13 toont de uitsplitsing van het economisch risico in materiële schade en de maatschappelijke kosten voor dodelijke slachtoffers en getroffen. Het risico is berekend voor de faalkans in de referentiesituatie. Het aandeel van de waarde van slachtoffers en getroffen in het totale schadebedrag is voor alle inrichtingsvarianten percentueel gelijk (ongeveer 35%). In absolute zin is het aandeel van slachtoffers en getroffen het grootst voor inrichtingsvariant 'geen'.



Figuur 13: Economisch risico dijkkring 17, IJsselmonde, uitgesplitst in materiële schade en economische schade van slachtoffers en getroffen (faalkans referentiesituatie).

3.3.2 Kosten

De kosten van de beschouwde inrichtingsvarianten staan in Tabel 4 uitgewerkt. Per inrichtingsvariant wordt weergegeven:

- de lengte van compartimenteringskering die op hoogte is (wel belast, maar voldoende hoog), die onbelast is (waarvan de hoogte dus niet belangrijk is voor de beschouwde situaties), die opgehoogd moet worden en die afgegraven wordt (volgens specificatie van de inrichtingsvariant);
- de investeringskosten, opgesplitst naar ophogen, verlagen (afgraven) en het verleggen van leidingenkruisingen met gevaarlijke stoffen door de compartimenteringskering;
- de kosten voor beheer en onderhoud.

Voor beheer en onderhoudskosten wordt uitgegaan van vijf euro per meter per jaar.

IRV	Lengte [km]					Investeringskosten [mln €]				BenO [mln €/jaar]
	op hoogte	onbelast	ophogen	verlagen	totaal	ophogen	verlagen	leidingen	totaal	
Hoog	21,5	2,4	20,7	0,0	44,6	66,6	0,0	6,7	73,3	0,22
Geen	0,6	0,0	0,0	44,0	44,6	0,0	41,9	0,0	41,9	0,00
IRV4	20,8	0,2	12,8	10,8	44,6	35,9	8,8	5,3	50,0	0,17
IRV5	24,2	0,6	11,9	7,3	44,0	30,4	6,4	5,3	42,1	0,18
IRV6	22,0	0,6	14,1	7,3	44,0	39,3	6,4	1,9	47,6	0,18
IRV7	17,1	0,2	15,4	11,9	44,6	48,9	9,9	8,3	67,1	0,16
IRV8	22,1	0,4	15,4	6,6	44,6	49,0	4,9	6,00	60,0	0,19

Tabel 4: Investeringskosten per inrichtingsvariant voor dijkkring 17, IJsselmonde.

Inrichtingsvarianten 5 en 6 zijn in totaal 600 meter korter omdat bij IJsselmonde de compartimenteringskering wordt verlegd wat resulteert in een korter tracé. De investeringskosten voor IRV7 en IRV8 zijn duidelijk hoger dan de andere inrichtingsvarianten, omdat de keringen over een langer traject moeten worden verhoogd (uitgezonderd de inrichtingsvariant 'hoog' uiteraard).

3.3.3 Kosten-baten

De kosten van een inrichtingsvariant zijn de som van de investeringskosten en de jaarlijks verwachte kosten voor beheer en onderhoud. De baten van compartimenteringskeringen liggen in het voorkomen van overstromingsschade ten opzichte van de inrichting in de huidige situatie. Deze worden uitgedrukt in contante waarde om kosten-baten over een oneindige tijdshorizon uit te kunnen voeren. De contante waarde van de overstromingsschade is vermeld in Tabel 5. De 2^e kolom bevat de contante waarde van het economisch risico. In de 3^e kolom staat de contante waarde van de realisatie- en instandhoudingskosten van de inrichtingsvariant. In de 4^e kolom zijn deze kosten gesommeerd tot de totale kosten per inrichtingsvariant. In de 5^e kolom wordt de kosteneffectiviteit weergegeven van een inrichtingsvariant ten opzichte van de huidige situatie; een positief getal betekent dat een inrichtingsvariant rendabel is en een negatief getal betekent dat de huidige inrichting economisch gunstiger is.

IRV	Contante waarde economisch risico [mln €]	Contante waarde kosten van investering en BenO [mln €]	Contante waarde totale kosten [mln €]	Contante waarde totale kosten t.o.v. huidige inrichting [mln €]
Huidig	106.1	6.1	112.2	-
Hoog	90.4	79.4	169.7	-57.6
Geen	284.8	41.9	326.7	-214.5
IRV4	100.5	54.7	155.2	-43.0
IRV5	91.3	47.1	138.4	-26.2
IRV6	85.2	52.6	137.8	-25.6
IRV7	102.7	68.9	171.6	-59.4
IRV8	99.3	62.9	162.3	-50.1

Tabel 5: Kosten-baten van compartimenteringskeringen dijkkring 17 voor de faalkans in de referentiesituatie, uitgerekend over een oneindige tijdshorizon.

De contante waarde van het economisch risico ligt voor alle inrichtingsvarianten in dezelfde orde van grootte, met uitzondering van de inrichtingsvariant zonder compartimenteringskeringen. Voor alle inrichtingsvarianten geldt dat de contante waarde van de totale kosten (investeringskosten + economisch risico) hoger is dan in de referentiesituatie. Vanuit economisch oogpunt zijn de onderzochte inrichtingsvarianten voor dijkkring 17 daarom niet rendabel. Het handhaven van het huidige stelsel van compartimenteringskeringen is de goedkoopste optie.

In Tabel 6 staat de kosten-batenanalyse als wordt uitgegaan van de overstromingskansen voor de primaire keringen volgens de DPV-norm. De nieuwe overstromingskansen voor de primaire keringen leiden tot een iets lager economisch risico, maar de onderzochte inrichtingsvarianten zijn ook dan economisch gezien niet rendabel.

IRV	Contante waarde economisch risico [mln €]	Contante waarde kosten van investering en BenO [mln €]	Contante waarde totale kosten [mln €]	Contante waarde totale kosten t.o.v. huidige inrichting [mln €]
Huidig	51.3	6.1	57.4	-
Hoog	45.8	79.4	125.2	-67.8
Geen	156.7	41.9	198.6	-141.2
IRV4	45.9	54.7	100.6	-43.2
IRV5	44.9	47.1	92.0	-34.6
IRV6	47.4	52.6	100.0	-42.6
IRV7	53.3	68.9	122.2	-64.8
IRV8	51.4	62.9	114.4	-56.9

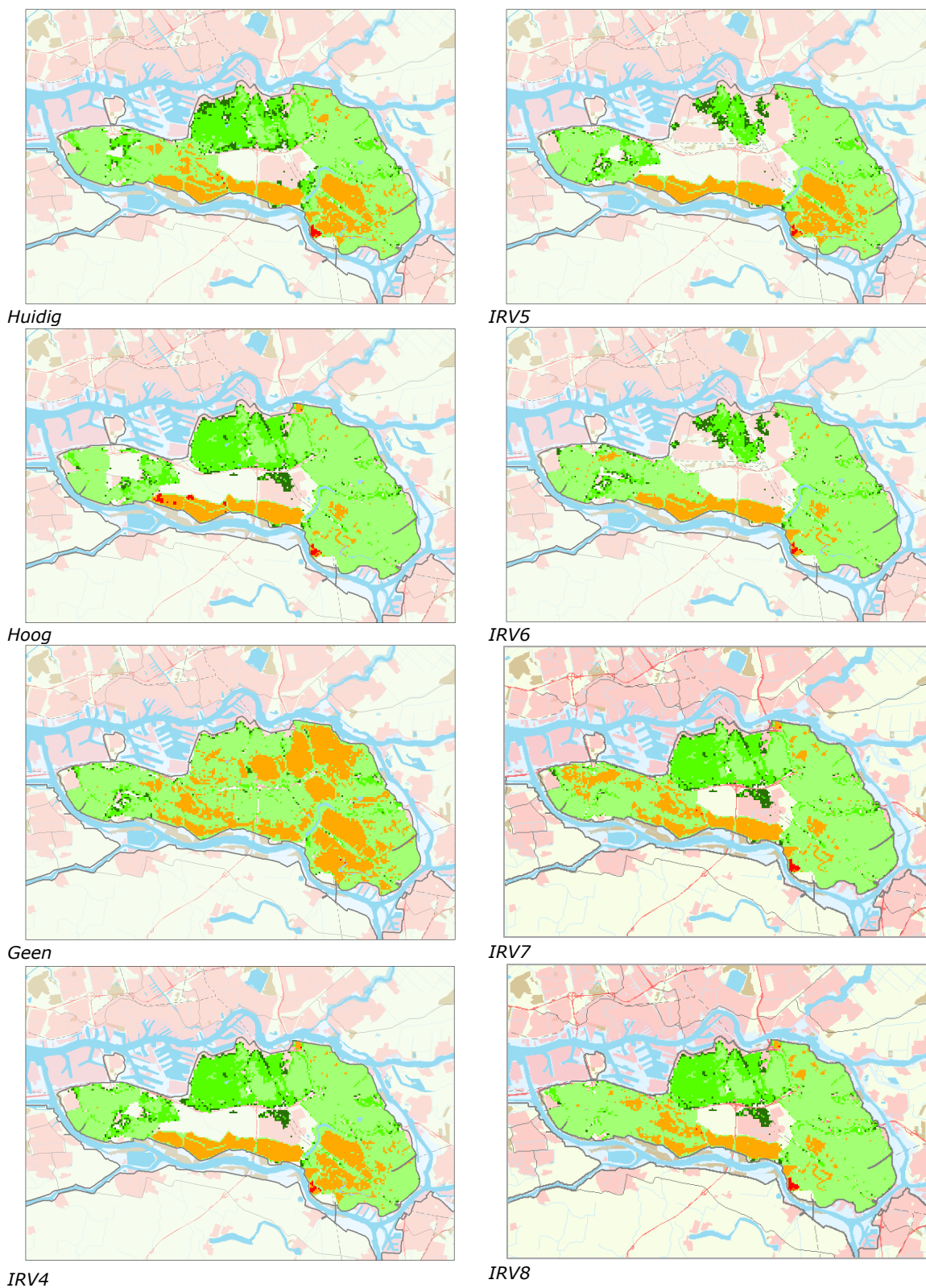
Tabel 6: Kosten-baten van compartimenteringskeringen dijkkring 17 voor de DPV-norm, uitgerekend over een oneindige tijdshorizon.

3.3.4 Lokaal individueel risico

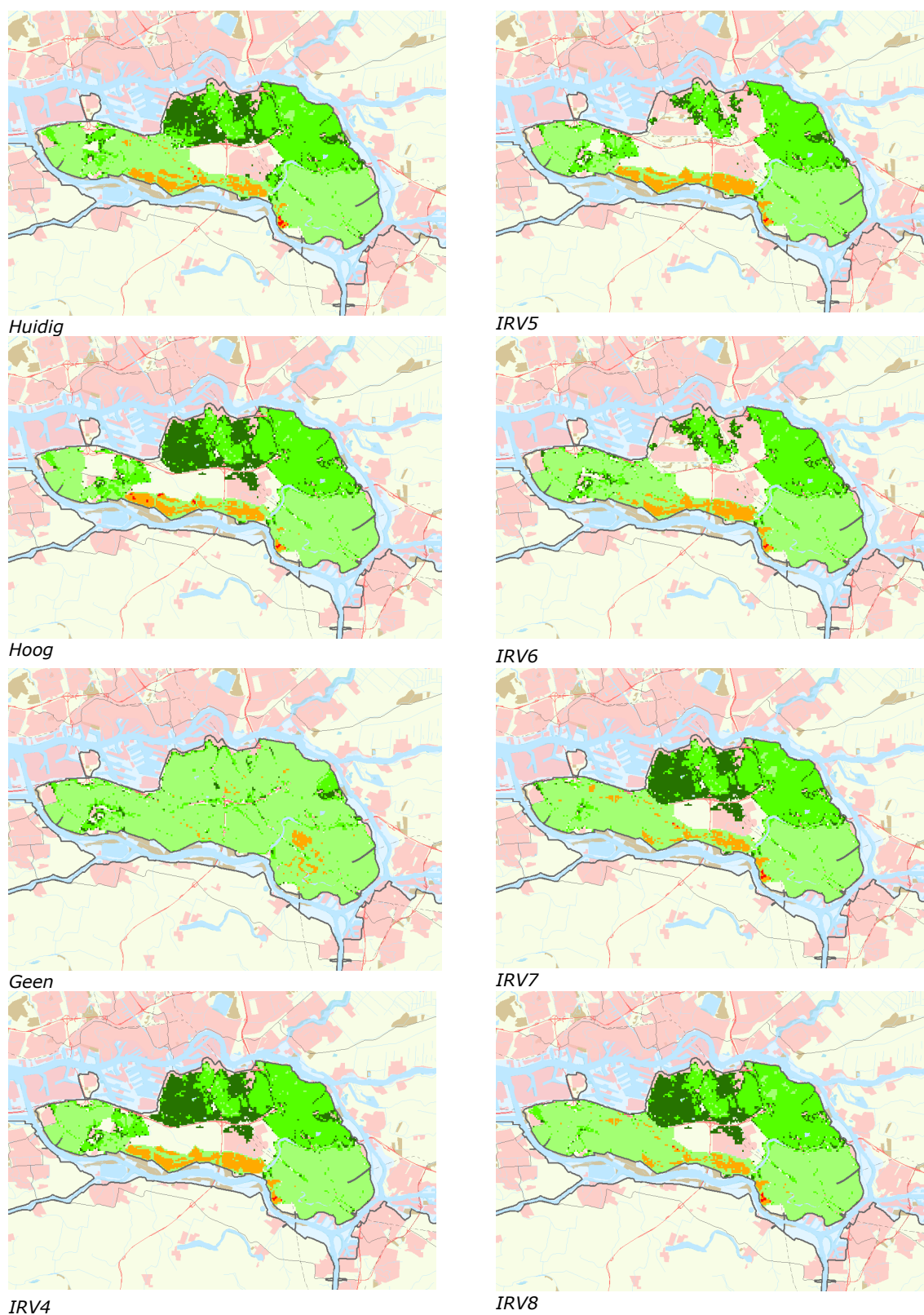
Het LIR op basis van de overstromingskans in de referentiesituatie is gegeven in Figuur 14, voor de DPV-norm in Figuur 15. De rode plekken op de LIR kaarten geven aan op welke plaats het LIR lokaal hoger is dan 10^{-5} . De verschillen tussen de kaarten geven aan welk effect een inrichtingsvariant heeft op het LIR. Een inrichtingsvariant leidt tot een ander overstromingsverloop, waardoor lokaal de mortaliteit toe- of afneemt (door grotere c.q. kleinere waterdiepten en/of stijgsnelheden) ten opzichte van de huidige inrichting. In deze studie is het LIR bepaald op gridcelniveau (met gridcellen ter grootte van een hectare). Gebieden met een LIR hoger dan 10^{-5} per jaar zijn roodgekleurd. Volgens het Deltaprogramma Veiligheid wordt voor de basisveiligheid op buurtniveau bepaald of het LIR kleiner is dan $5 \cdot 10^{-6}$ per jaar. Het is dus mogelijk dat lokaal (op gridcelniveau) het LIR *groter* is dan $5 \cdot 10^{-6}$ per jaar (of zelfs 10^{-5} per jaar), maar dat op buurtniveau (mediane mortaliteit) wel aan de LIR-eis wordt voldaan.

Het zuidelijk deel van dijkkring 17 kent de hoogste LIR-waarden. Dit wordt veroorzaakt doordat de compartimenten hier betrekkelijk klein zijn en de bressen diep kunnen uitgroeien door het ontbreken van voorlandbescherming. Alleen in de inrichtingsvariant 'geen' is het LIR in het gehele gebied lager dan 10^{-5} . Bij variant 'hoog' zijn er in de zuidelijke compartimenten meerdere plaatsen waar het LIR lokaal hoger is dan 10^{-5} . In inrichtingsvarianten 4, 5, 6, 7 en 8 zijn deze kleine compartimenten (deels) samengevoegd, waardoor het LIR wel binnen de norm blijft. Wat opvalt bij inrichtingsvarianten 5 en 6 is dat het LIR reduceert tot 0 in een deel van Rotterdam. Dit is het effect van het verleggen van de compartimenteringskering bij IJsselmonde, waardoor Rotterdam nog beter is beschermd.

Het LIR op basis van de faalkansen in de referentiesituatie is minder gunstig dan bij toepassing van de DPV-norm. Indien de DPV-norm wordt gehanteerd, zijn er slechts zeer lokaal overschrijdingen van 10^{-5} .



Figuur 14: LIR-kaarten dijkkring 17 (IJsselmonde) op basis van de faalkans in de referentiesituatie.



Figuur 15: LIR-kaarten dijkkring 17 (IJsselmonde) op basis van DPV-norm.

3.4 Samenvatting dijkkring 17 – IJsselmonde

Geen van de onderzochte inrichtingsvarianten is rendabel ten opzichte van het huidige stelsel van compartimenteringskeringen. Dit geldt bij zowel de faalkansen van de primaire keringen in de referentiesituatie als op basis van de DPV-norm. De compartimenteringskeringen hebben nut, want zonder de compartimenteringskeringen neemt het economisch risico met een factor 3 tot 4 toe ten opzichte van de huidige situatie. Vanuit economisch oogpunt is het handhaven van de huidige ligging en hoogte van de compartimenteringskeringen nodig.

In de zuidelijke compartimenten zijn er enkele plaatsen waar op basis van de faalkans in de referentiesituatie het LIR hoger is dan 10^{-5} per jaar. Dit geldt voor alle inrichtingsvarianten met uitzondering van variant 'laag'. Hetzelfde patroon is zichtbaar indien wordt uitgegaan van de DPV-norm, al zijn de 'rode' gebieden wel iets beperkter. Bij de variant 'geen' (zonder compartimenteringskeringen) zijn de LIR-waarden het laagst, maar deze variant is economisch niet rendabel (de verwachte schade door overstroming neemt toe doordat de gehele dijkkring wordt getroffen).

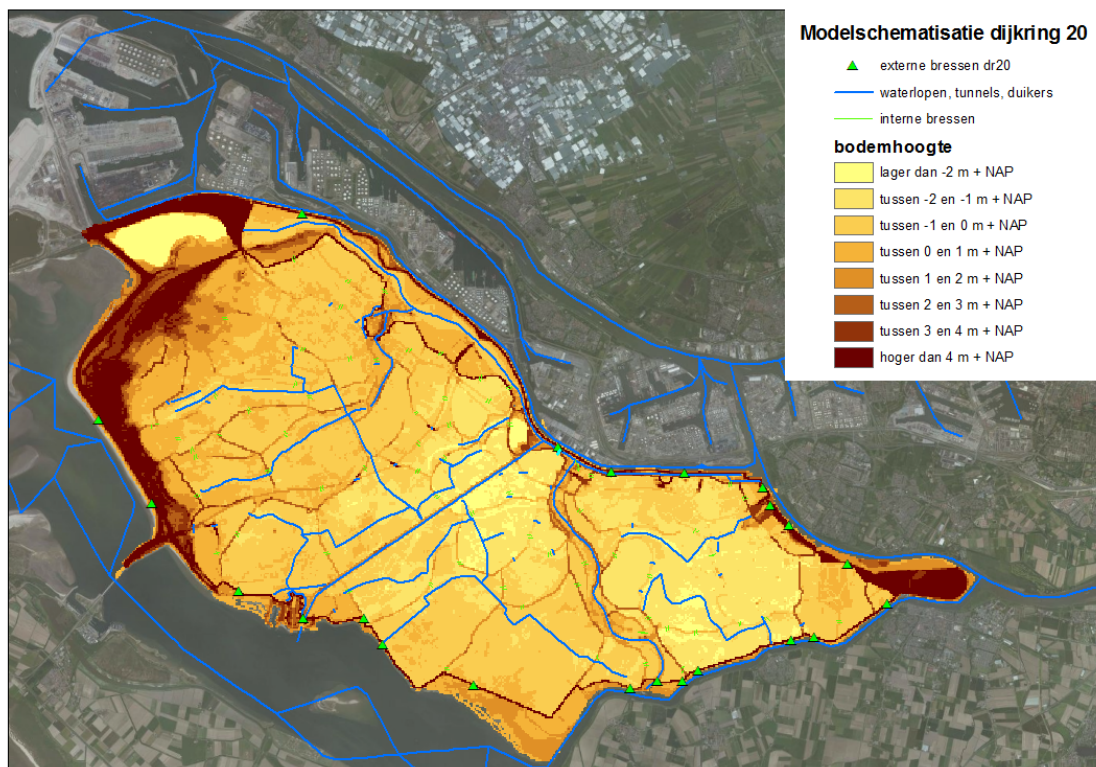
De verschillen tussen de inrichtingsvarianten zijn voor zowel het economisch risico als het LIR erg klein, met uitzondering van optie 'geen'.

Bij de kosten-baten analyse is het stelsel van compartimenteringskeringen als geheel beschouwd. Lokale oplossingen binnen het stelsel van compartimenteringskeringen zijn niet onderzocht. Het is mogelijk dat er optimalisaties mogelijk zijn voor de inrichting van een specifiek dijktraject. Op basis van de onderzochte inrichtingsvarianten zijn kansrijke specifieke situaties te benoemen. Een potentiële optimalisatie om het economisch risico te verkleinen is het verleggen van de kering bij IJsselmonde zoals meegenomen in de inrichtingsvarianten IRV5 en IRV6. Door het verleggen van de kering bij IJsselmonde wordt de stad Rotterdam namelijk beter beschermd tegen overstroming. Andere potentiële optimalisaties zijn het verlagen van de kering ten oosten van Hoogvliet en het volledig kerend maken van de kering langs het Waaltje en de kering ten zuiden van Rhoon. Om de kosteneffectiviteit van deze maatwerk-oplossingen te bepalen is verder onderzoek nodig.

4 Dijkkring 20 – Voorne-Putten

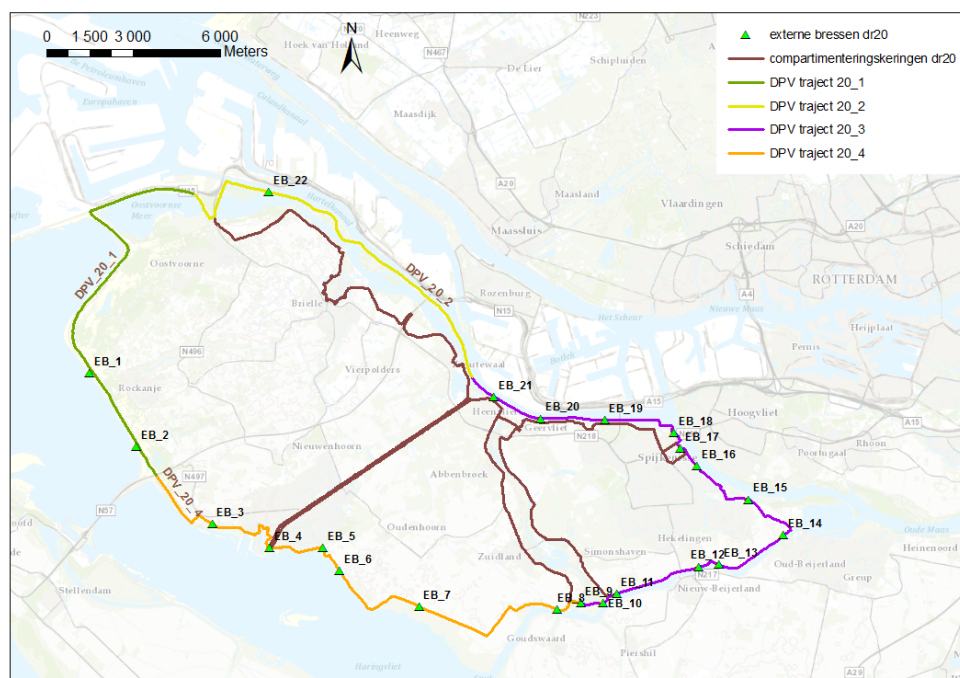
4.1 Algemeen

Dijkkring 20 Voorne-Putten is omsloten door de Noordzee, het Haringvliet, het Spui, de Oude Maas en het Hartelkanaal. Binnen de primaire kering in het noorden van de dijkkring liggen het Brielse Meer (tussen Oostvoorne en Zwartewaal) en het Voedingskanaal van het Brielse Meer (tussen Zwartewaal en Spijkenisse). Dit boezemwater wordt aan de noordzijde begrensd door de primaire kering en aan de zuidzijde voor het grootste deel door waterkeringen die in de legger vermeld staan als "secundaire kering, tevens boezemkade" en op kortere trajecten door een boezemkade met iets verder landinwaarts een compartimenteringskering. Overige compartimenteringskeringen liggen langs het Kanaal door Voorne-Putten en langs de Bernisse. De voornaamste plaatsen op Voorne-Putten zijn Spijkenisse, het oude vestingstadje Brielle, de voormalige marinehaven Hellevoetsluis en de badplaatsen Rockanje en Oostvoorne.



Figuur 16: Modellschematisatie dijkkring 20 (Voorne-Putten).

De modellschematisatie van dijkkring 20 is weergegeven in Figuur 16. De blauwe lijnen buiten de dijkkring betreffen de schematisatie van het buitenwater door middel van het Noordelijk Deltabekken model (NDB-model). De waterlopen binnen de dijkkring bestaan uit een selectie van waterlopen binnen het regionale watersysteem, aangevuld met kunstwerken die de hoge lijnelementen doorkruisen en daarmee het overstromingspatroon kunnen beïnvloeden. Dit betreft duikers en tunnels. Op de plaats van de groene lijnen zijn interne bressen gemodelleerd. De externe bressen zijn weergegeven met een groene driehoek (zie ook Figuur 17).



Figuur 17: Externe bressen dijkkring 20 (Voorne-Putten).

In Tabel 7 zijn de overstromingskansen conform de DPV-norm uit het Deltaprogramma weergegeven (DPV, 2014) en de faalkansen van de dijktrajecten in de referentiesituatie zoals berekend in project VNK2.

Dijkkringtraject		DPV-norm [1/... per jaar]	Faalkans referentiesituatie [1/... per jaar]
20-1	DPV1	30.000	850.000
20-2	DPV2	10.000	6.000
20-3	DPV3	30.000	300
20-4	DPV4	1.000	200

Tabel 7: Overstromingskansen dijkkring 20, Voorne-Putten.

Voor DPV-traject 20-1 geldt dat de primaire waterkering wordt gevormd door duinen, in tegenstelling tot de overige DPV-trajecten, waar dijken het achterland beschermen. Het concept voor dijkdoorbraken zoals in Sobek is ingebouwd (eerst groei in de diepte dan in de breedte) is eigenlijk niet correct bij duinen (VNK1, 2006). Besloten is dit concept wel te gebruiken. Door relatief veilige invoergegevens bij de bresgroei in te voeren wordt de bres in ieder geval niet onderschat. De volgende gegevens zijn in Sobek ingevoerd:

- De duinen worden voor een deel afgeslagen en er ontstaat een bres;
- De initiële breedte van deze bres is 50 meter zodat er direct een grote bres aanwezig is, dit is een conservatieve benadering;
- De snelheid en mate waarmee de bres groeit wordt bepaald door een tweetal factoren, te weten de $F1$ en de Uc (kritieke stroomsnelheid). Voor zanddijken is de waarde voor deze twee factoren respectievelijk 1,2 en 0,2. Deze waarden zijn voor de duinen te hoog. Door de losse structuur van de duinen zal het zand veel eenvoudiger eroderen dan bij een zanddijk. Daarom wordt voor deze factoren respectievelijk 0,5 en 0,1 aangehouden.

4.2 Inrichtingsvarianten

Voor dijkkring 20 zijn overstromingsberekeningen uitgevoerd waarbij de inrichting van de compartimenteringskeringen gelijk is aan de huidige situatie. Ook zijn de varianten 'hoog' en 'geen' meegenomen.

Aanvullend is een extra inrichtingsvariant, IRV4, gedefinieerd waarin, ten opzichte van de huidige inrichting, de compartimenteringskering langs het Brielse Meer en Voedingskanaal standzeker, maar overstroombaar is. Bij overstroming van de kering ontstaat er bij deze variant geen interne bres.

Daarnaast is de analyse herhaald waarbij de grenzen tussen de DPV-trajecten zijn verlegd. Het betreft de grens tussen dijktraject 20-2 en 20-3 dat oorspronkelijk lag bij Rozenburg en wordt verplaatst naar de Hartelkering. De overstromingskansen per traject zijn gehandhaafd (de berekeningen van de overstromingskans in de referentiesituatie c.q. de afleiding van de DPV-norm is dus op basis van de *oorspronkelijke* trajectindeling).

4.3 Resultaten

4.3.1 Gevolgen

Dijkkring 20 is door het Kanaal door Voorne-Putten in feite al gecompartmenteerd en het oostelijk deel is verder opgedeeld door de Bernisse. In de referentiesituatie ontstaan bij deze keringen al bij overstromingen bij toetspeil interne bressen als de keringen overstromen.

Bij een overstroming van de primaire kering langs het Hartelkanaal ontstaat de meeste schade. Vanuit het Hartelkanaal stroomt het Brielse Meer en het Voedingskanaal vol. Vervolgens bezwijkt de compartimenteringskering langs dit regionale water en overstroomt een groot gedeelte van dijkkring 20, wat een hoge economische schade tot gevolg heeft. Hierbij compartimenteren het kanaal door Voorne-Putten en de Bernisse de dijkkring (deels). Bij afgraven van deze keringen zal de gehele dijkkring kunnen overstromen.

Voor de inrichtingsvarianten is onderzocht wat het effect is van het verhogen of verlagen van specifieke keringen op de totale gevolgen. De vermelde bedragen zijn inclusief slachtoffers en getroffen, berekend voor 2050 (conform DPV-systematiek). In de grafieken zijn de resultaten met de nieuwe trajectindeling van de primaire keringen aangeduid met de toevoeging '_TRA'.

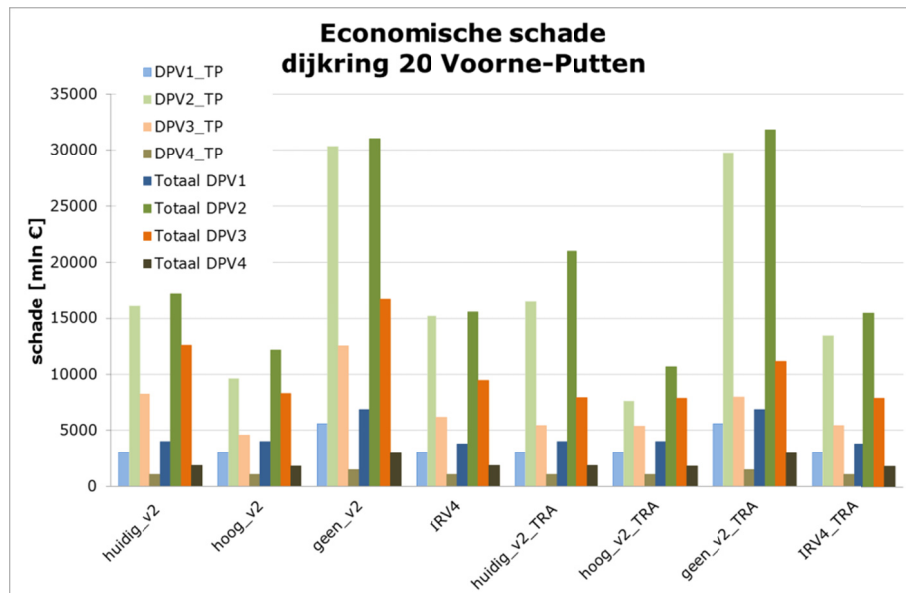
Economische schade

Figuur 18 toont de economische schade voor 2050, inclusief slachtoffers en getroffen, uitgesplitst per DPV traject. Naast de totale schade is ook de schade bij toetspeil weergegeven. Door alle compartimenteringskeringen standzeker te veronderstellen neemt de schade door overstroming beperkt af. Daarentegen wordt de schade veel groter als de huidige compartimenteringskeringen worden verlaagd. De schade wordt voornamelijk bepaald door de bressen in de trajecten 20-2 (langs het Hartelkanaal) en 20-3 (langs het Hartelkanaal, de Oude Maas en het Spui): het kanaal door Voorne-Putten deelt de dijkkring op in twee compartimenten, maar de bressen langs het Hartelkanaal komen allen uit in hetzelfde watersysteem: het Brielse Meer en het Voedingskanaal.

Het verleggen van de grens tussen normtraject 20-2 en 20-3 naar de Hartelkering zorgt ervoor dat de schade van traject 20-2 toeneemt en van normtraject 20-3 afneemt.

De economische schade van IRV4 ligt tussen de economische schade in de huidige inrichting en de inrichtingsvariant 'hoog'. Door het verleggen van de trajectgrens neemt de schade voor de inrichtingsvariant 'hoog' en IRV4 iets af en die van de huidige inrichting iets toe.

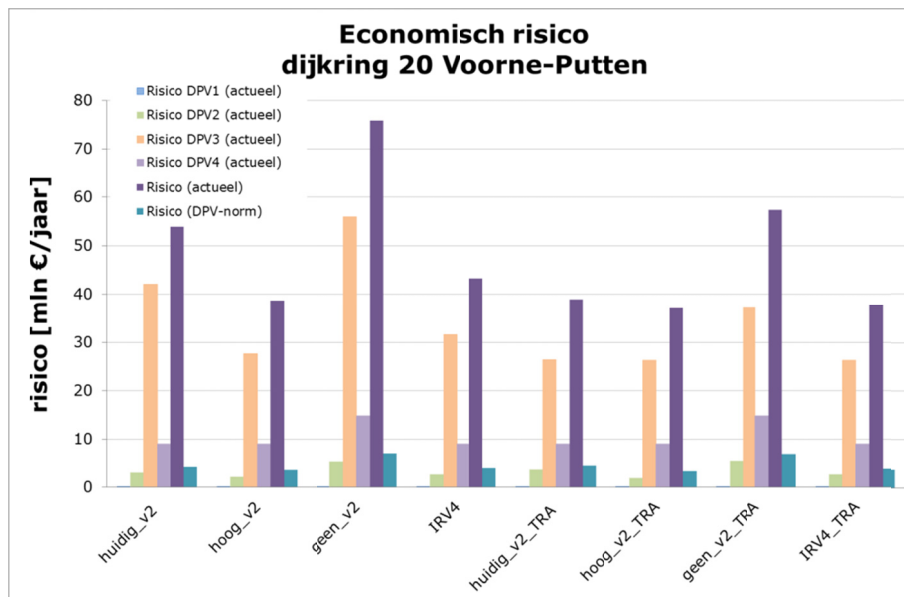
Alle inrichtingsvarianten, met uitzondering van de situatie zonder compartimenteringskeringen, hebben een economische schade die orde van grootte overeenkomen.



Figuur 18: Economische schade dijkkring 20, Voorne-Putten.

Economisch risico

Figuur 19 toont het economisch risico per inrichtingsvariant, voor zowel de faalkans in de referentiesituatie als voor de DPV-norm. De risico's op basis van de faalkans in de referentiesituatie zijn logischerwijs groter dan de risico's bij toepassing van de strengere DPV-norm. De economische schade van normtraject 20-1 is relatief gering en ook de overstromingskans is relatief klein (zie Tabel 7) waardoor dit traject nauwelijks bijdraagt aan het risico.

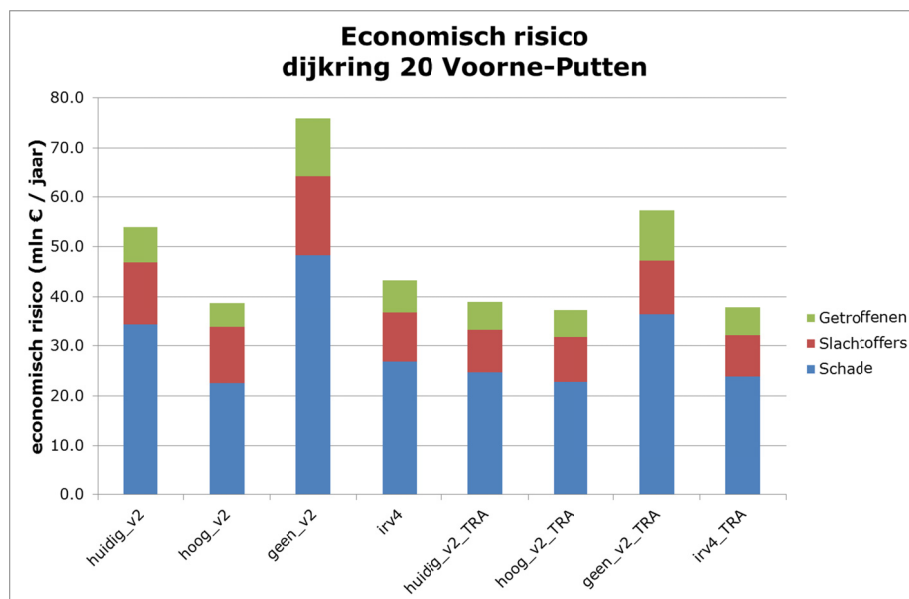


Figuur 19: Economisch risico dijkkring 20, Voorne-Putten.

Door de relatief kleine faalkans in de referentiesituatie van traject 20-2 (langs de Oude Maas) wordt het risico gedomineerd door het traject 20-3 (noordoosten van de dijkkring). Met de DPV-norm is het effect tegengesteld: traject 20-3 heeft dan juist een kleinere overstromingskans, waardoor het risico wordt gedomineerd door traject 20-2. Met de DPV-norm nemen de overstromingskansen flink af ten opzichte van de referentie (met uitzondering van de Noordzeekust, maar daar is de schade door overstroming relatief klein). Hierdoor wordt het economisch risico grofweg een factor 10 kleiner.

Het economisch risico van IRV4 is vergelijkbaar met dat van inrichtingsvariant 'hoog'. Met de grensverlegging van DPV-trajecten 20-2 en 20-3 neemt het economisch risico af.

Het totale schadebedrag bevat ook de economische waarde van de slachtoffers en getroffen. Figuur 20 toont de uitsplitsing van het totale schadebedrag in materiële schade en economisch waardeverlies aan (dodelijke) slachtoffers en getroffen. Het risico is berekend voor de faalkans in de referentiesituatie. Van het totale economische risico wordt circa 60 tot 65% bepaald door de economische schade; slachtoffers en getroffen dragen in de inrichtingsvarianten bij voor circa 35 tot 40%. Slachtoffers en getroffen dragen in de inrichtingsvariant 'hoog' relatief het meeste bij aan het economisch risico.



Figuur 20: Economisch risico dijkkring 20, Voorne-Putten, uitgesplitst in materiële schade en economische schade van slachtoffers en getroffen (faalkans referentiesituatie).

4.3.2 Kosten

In Tabel 8 staan de kosten voor de beschouwde inrichtingsvarianten uitgewerkt. Per inrichtingsvariant wordt weergegeven:

- de lengte van compartimenteringskering die op hoogte is (wel belast, maar voldoende hoog), die onbelast is (waarvan de hoogte dus niet belangrijk is voor de beschouwde situaties), die opgehoogd moet worden en die afgegraven wordt (volgens specificatie van de inrichtingsvariant);
- de investeringskosten, opgesplitst naar ophogen, verlagen (afgraven) en het verleggen van leidingenkruisingen met gevaarlijke stoffen door de compartimenteringskering;
- de kosten voor beheer en onderhoud.

Voor beheer en onderhoudskosten wordt uitgegaan van vijf euro per meter per jaar.

Het overstroombaar maken van de dijken langs het Brielse meer en het toevoerkanaal zal in de praktijk gebeuren door het binnentalud te verflauwen en klei in het binnentalud en de teen in te kassen. De eenheidsprijs voor deze maatregel hangt uiteraard af van de dijkhoogte en varieert voor dit traject tussen de 1.400 en 1.800 €/m. Dit bedrag is vergelijkbaar met ervaringscijfers bij de Maaswerken waar soortgelijke maatregelen zijn genomen.

IRV	Lengte [km]					Investeringskosten [mln €]				BenO [mln €/jaar]
	Op hoogte	onbelast	ophogen	verlagen	totaal	ophogen	verlagen	leidingen	totaal	
Hoog	21,5	1,1	38,7	0,0	61,3	217,0	0,0	3,4	220,4	0,3
Geen	0,1	0,0	0,0	61,2	61,3	0,0	34,5	0,0	34,5	0,0
IRV4	27,9	0,8	32,6 ⁵	0,0	61,3	99,8	0,0	2,8	102,6	0,3

Tabel 8: Investeringskosten per inrichtingsvariant voor dijkkring 20, Voorne-Putten.

De investeringskosten voor IRV4 zijn grofweg de helft van de investeringskosten om alle compartimenteringskeringen waterkerend uit te voeren (inrichtingsvariant 'hoog').

4.3.3 Kosten-baten

De kosten van een inrichtingsvariant zijn de som van de investeringskosten en de jaarlijks verwachte kosten voor beheer en onderhoud. De baten van compartimenteringskeringen liggen in het voorkomen van overstromingsschade ten opzichte van de inrichting in de huidige situatie. Deze worden uitgedrukt in contante waarde om kosten-baten over een oneindige tijdshorizon uit te kunnen voeren. De contante waarde van de overstromingsschade is vermeld in Tabel 9. De 2^e kolom bevat de contante waarde van het economisch risico. In de 3^e kolom staat de contante waarde van de realisatie- en instandhoudingskosten van de inrichtingsvariant. In de 4^e kolom zijn deze kosten gesommeerd tot de totale kosten per inrichtingsvariant. In de 5^e kolom wordt de kosteneffectiviteit weergegeven van een inrichtingsvariant ten opzichte van de huidige situatie; een positief getal betekent dat een inrichtingsvariant rendabel is en een negatief getal betekent dat de huidige inrichting economisch gunstiger is.

De compartimenteringskeringen in dijkkring 20 zijn economisch gezien rendabel: het verwijderen hiervan leidt tot een toename van het economische risico in de orde van 300 miljoen euro. IRV4 is bij de faalkans in de referentiesituatie economisch gezien rendabel en iets gunstiger dan het waterkerend maken van alle compartimenteringskeringen. Dit wordt veroorzaakt door de lagere investeringskosten. Als de grens tussen DPV-trajecten 20-2 en 20-3 wordt verlegd naar de Hartelkering is geen van de inrichtingsvarianten economisch rendabel en is het handhaven van de compartimenteringskeringen de goedkoopste oplossing.

	IRV	Contante waarde economisch risico [mln €]	Contante waarde kosten van investering en BenO [mln €]	Contante waarde totale kosten [mln €]	Contante waarde totale kosten t.o.v. huidige inrichting [mln €]
Bestaande trajectindelin	Huidig	774.8	8.6	783.4	-
	Hoog	556.3	229.0	785.3	-1.9
	Geen	1091.0	34.5	1125.6	-342.1
	IRV4	621.0	107.2	728.2	55.2
Nieuwe trajectindelin	Huidig	559.2	8.6	567.8	-
	Hoog	533.3	229.0	762.3	-194.5
	Geen	823.7	34.5	858.2	-290.4
	IRV4	543.4	107.2	650.5	-82.8

Tabel 9: Kosten-baten van compartimenteringskeringen dijkkring 20 voor de faalkans in de referentiesituatie, uitgerekend over een oneindige tijdshorizon.

⁵ Bij IRV 4 wordt de kering niet opgehoogd, maar enkel in de breedte versterkt

De overstromingskansen volgens de DPV-norm zijn veel kleiner. Hierdoor neemt het overstromingsrisico in de dijkkring af en zijn de inrichtingsvarianten ook volgens de huidige dijktrajectindeling niet rendabel (Tabel 10). Het handhaven van het huidige stelsel van compartimenteringskeringen is het meest rendabel.

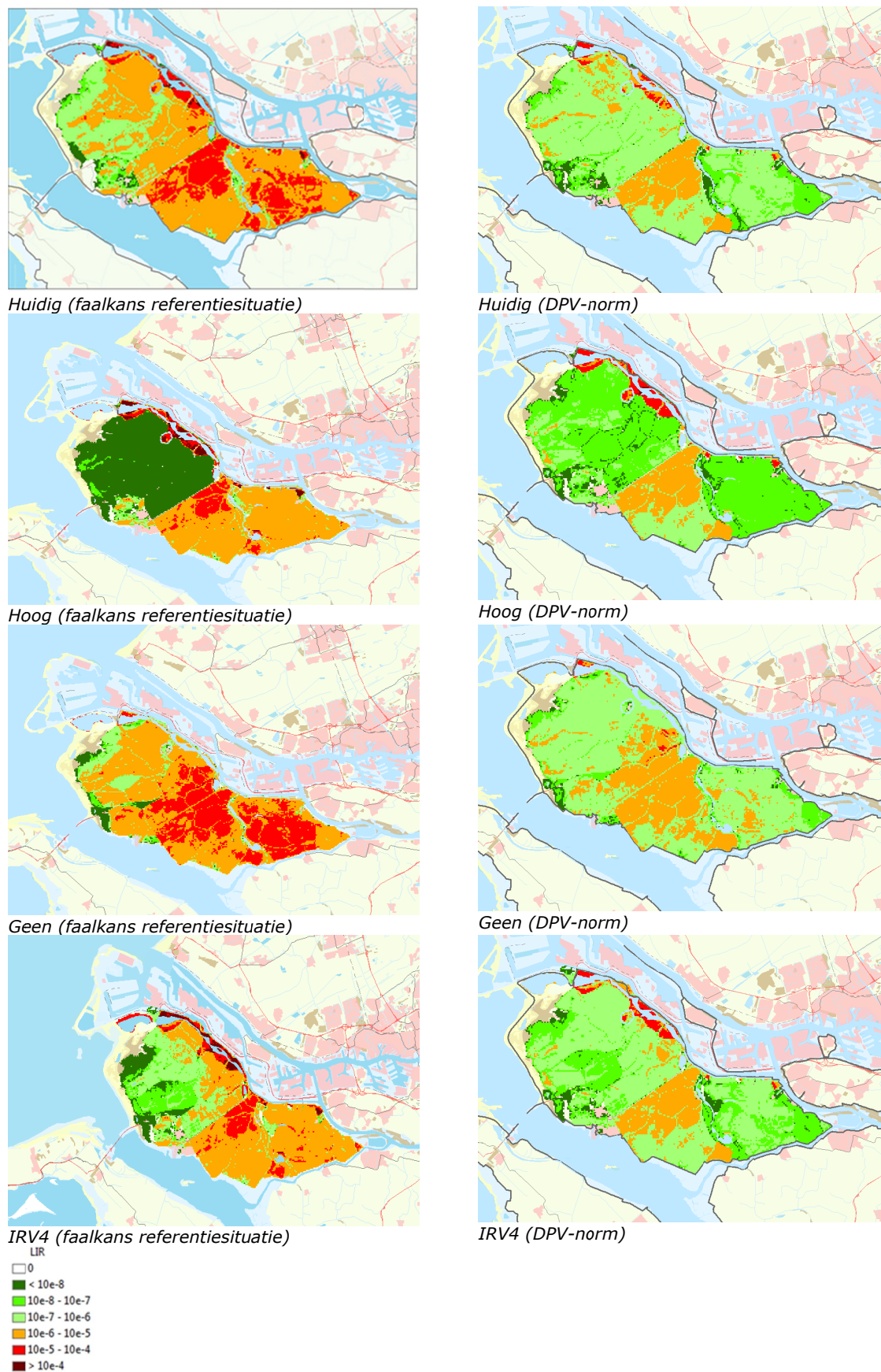
	IRV	Contante waarde economisch risico [mln €]	Contante waarde kosten van investering en BenO [mln €]	Contante waarde totale kosten [mln €]	Contante waarde totale kosten t.o.v. huidige inrichting [mln €]
Bestaande trajectindeling	Huidig	58.7	8.6	67.3	-
	Hoog	49.3	229.0	278.3	-211.0
	Geen	98.4	34.5	132.9	-65.6
	IRV4	54.6	107.2	161.8	-94.5
Nieuwe trajectindeling	Huidig	61.9	8.6	70.5	-
	Hoog	46.9	229.0	275.9	-205.4
	Geen	96.9	34.5	131.4	-60.9
	IRV4	53.7	107.2	160.9	-90.4

Tabel 10: Kosten-baten van compartimenteringskeringen dijkkring 20 voor de DPV-norm, uitgerekend over een oneindige tijdshorizon.

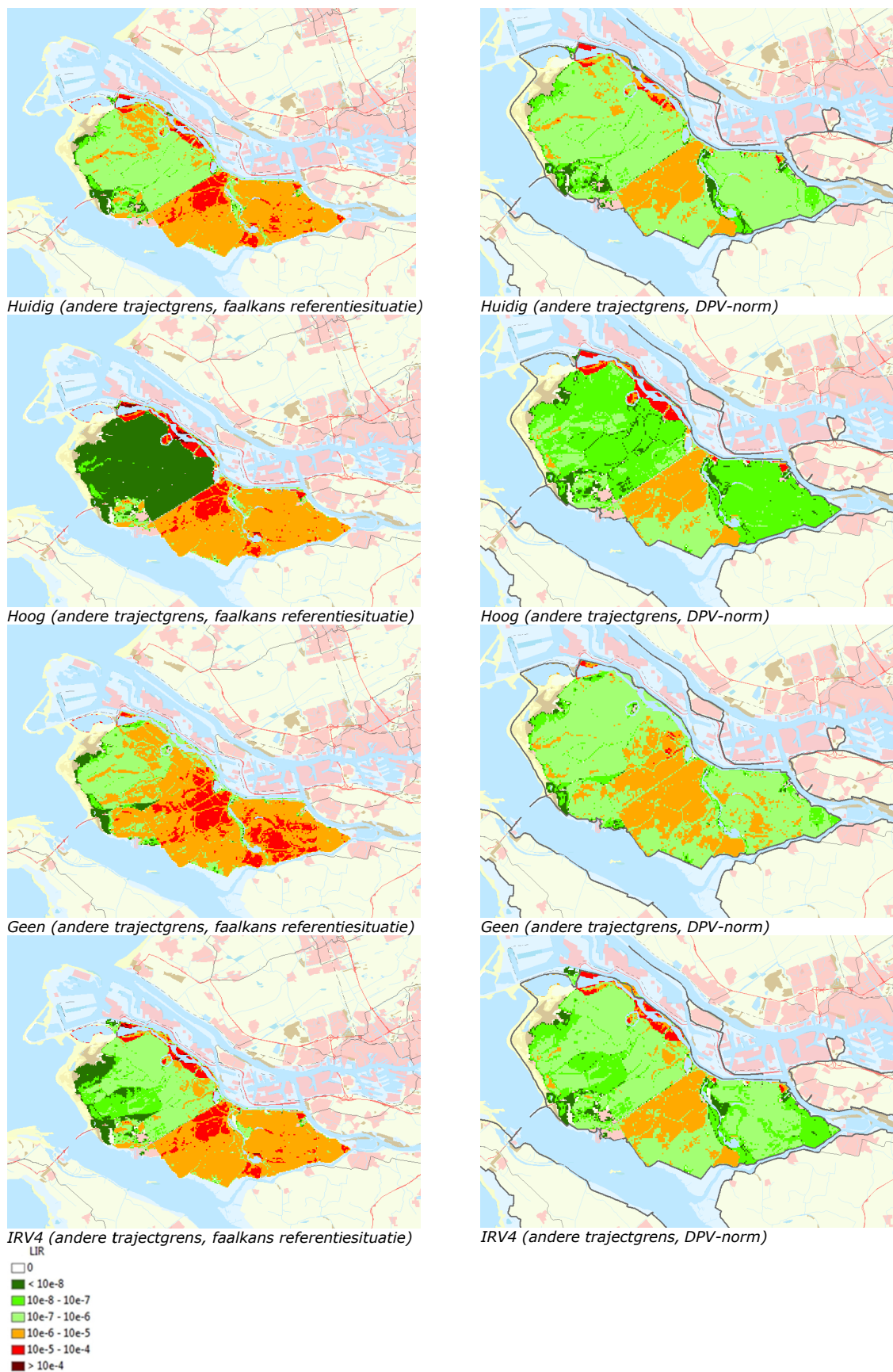
4.3.4 Lokaal individueel risico

De onderstaande figuren geven het LIR op gridcelniveau voor respectievelijk de bestaande trajectindeling (Figuur 21) en de nieuwe trajectindeling (Figuur 22). Hierbij wordt opgemerkt dat voor de nieuwe trajectindeling de overstromingskansen van de bestaande trajectindeling zijn gehanteerd (de overstromingskans per bres is wel bepaald op basis van het desbetreffende dijktraject). In deze figuren staat in de linker kolom het LIR op basis van de overstromingskansen in de referentiesituatie en in de rechterkolom op basis van de DPV-norm. De rode plekken op de LIR kaarten geven aan op welke plaats het LIR op gridcelniveau groter is dan 10^{-5} per jaar.

Uitgaande van de faalkansen in de referentiesituatie wordt voor grote delen van de dijkkring de eis van 10^{-5} per jaar niet gehaald. Dit geldt voornamelijk voor het gebied in het noordoosten, langs het kanaal door Voorne-Putten en in het oostelijk deel van de dijkkring. Op basis van de DPV-norm verbetert de situatie significant, maar blijven er in alle gevallen gebieden rond het Brielse Meer met een LIR op gridcelniveau groter dan 10^{-5} per jaar. Het verleggen van de grens tussen normtrajecten 20-2 en 20-3 heeft beperkt invloed op het LIR. Met name voor de huidige inrichting en de situatie zonder compartimenteringskeringen wordt het LIR gunstiger, hoewel er roodgekleurde gebieden zichtbaar blijven. Een analyse op buurniveau zou moeten uitwijzen of wordt voldaan aan de LIR-eis.



Figuur 21: LIR-kaarten dijkkring 20 (Voorne-Putten) op basis van de faalkans in de referentiesituatie (kolom links) en volgens DPV-norm (kolom rechts).



Figuur 22: LIR-kaarten dijkkring 20 (Voorne-Putten) op basis van de faalkans in de referentiesituatie (kolom links) en volgens DPV-norm (kolom rechts) met nieuwe trajectindeling.

4.4 Samenvatting dijkkring 20 – Voorne-Putten

Uitgaande van de DPV-norm is geen van de onderzochte inrichtingsvarianten rendabel ten opzichte van het huidige stelsel van compartimenteringskeringen. De compartimenteringskeringen hebben nut, want zonder compartimenteringskeringen neemt het economisch risico met een factor $1\frac{1}{2}$ toe ten opzichte van de huidige situatie. Het handhaven van de huidige ligging en hoogte van de compartimenteringskeringen is daarom vanuit economisch oogpunt nodig.

Op basis van de faalkansen van de primaire keringen in de referentiesituatie is inrichtingsvariant IRV4 het meest rendabel. Bij deze variant worden de compartimenteringskering langs het Brielse Meer en het Voedingskanaal door versterking standzeker gemaakt, met behoud van de huidige hoogte. Inrichtingsvariant 'hoog' zorgt voor de grootste afname van het economisch risico, maar daar staat tegenover dat de investeringskosten hoger zijn dan van IRV4.

Op basis van de faalkansen in de referentiesituatie zijn er grote gebieden binnen de dijkkring waar het LIR hoger is dan 10^{-5} per jaar. Dit geldt voor alle inrichtingsvarianten. Uitgaande van de DPV-norm wordt bijna overal voldaan aan de LIR-eis van 10^{-5} per jaar. Alleen in het noordelijk deel van de dijkkring langs het Brielse Meer is het LIR lokaal hoger dan 10^{-5} per jaar.

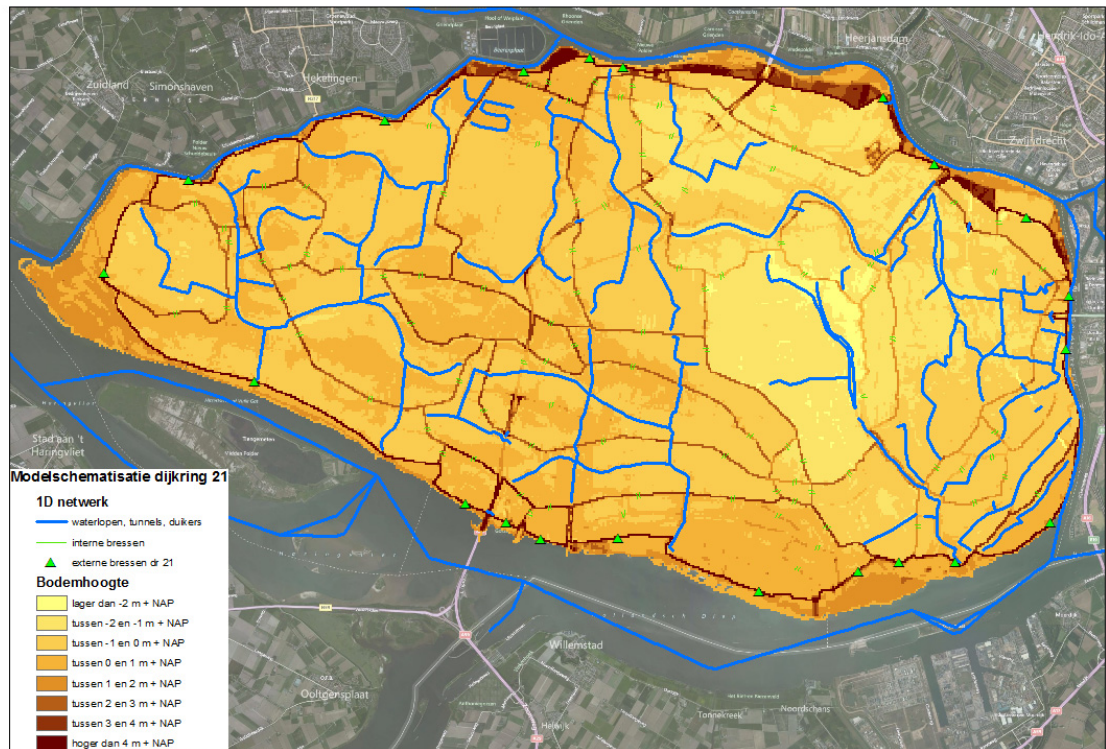
Voor dijkkring 20 is onderzocht wat het effect is van het verplaatsen van de trajectgrens van normtrajecten 20-2 en 20-3 (van de primaire kering) naar de locatie van de Hartelkering. In de huidige inrichting wordt het economisch risico daardoor verlaagd met ongeveer 30 % (op basis van de faalkansen in de referentiesituatie). De inrichtingsvarianten zijn dan niet rendabel ten opzichte van het huidige stelsel van compartimenteringskeringen. Uitgaande van de DPV-normen blijkt het verleggen van de trajectgrens nauwelijks effect te hebben op het economisch risico, doordat de overstromingskans van traject 20-3 met een factor 100 afneemt (van 1/300 in de referentiesituatie naar een norm van 1/30.000).

Bij de kosten-baten analyse is het stelsel van compartimenteringskeringen als geheel beschouwd. Lokale oplossingen binnen het stelsel van compartimenteringskeringen zijn niet onderzocht. Het is mogelijk dat er optimalisaties mogelijk zijn voor de inrichting van een specifiek dijktraject. Het uitgevoerde onderzoek geeft hiervoor geen concrete aanknopingspunten.

5 Dijkkring 21 – Hoekse Waard

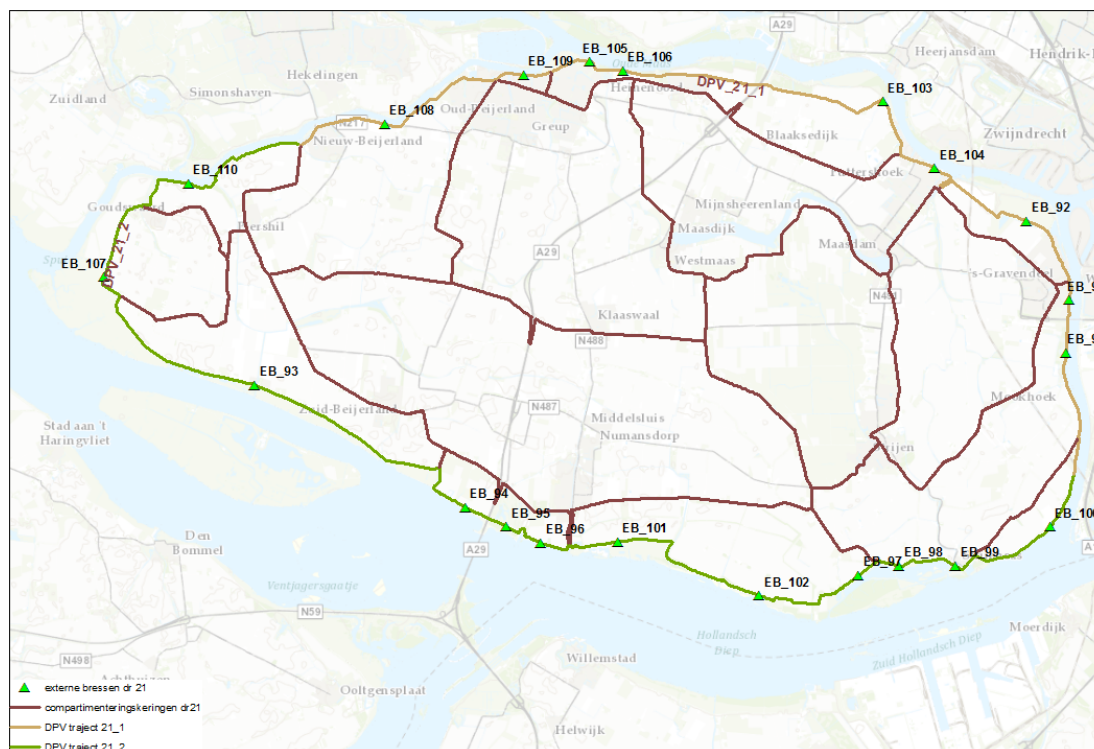
5.1 Algemeen

Dijkkring 21 Hoekse Waard is omsloten door de Oude Maas in het Noorden, de Dordtsche Kil in het Oosten, het Hollandsch Diep en Haringvliet in het Zuiden en het Spui in het westen.



Figuur 23: Model schematisatie dijkkring 21 (Hoekse Waard).

De modelschematisatie van dijkkring 21 is weergegeven in Figuur 23. De blauwe lijnen buiten de dijkkring betreffen de schematisatie van het Noordelijk Deltabekken model (NDB-model). De waterlopen binnen de dijkkring bestaan uit een selectie van waterlopen binnen het regionale watersysteem, aangevuld met kunstwerken die de hoge lijnelementen doorkruisen en daarmee het overstromingspatroon kunnen beïnvloeden. Dit betreft duikers en tunnels. Op de plaats van de groene lijnen zijn interne bressen gemodelleerd. De externe bressen worden weergegeven met een groene driehoek (zie ook Figuur 24).



Figuur 24: Externe bressen dijkkring 21 (Hoekse Waard).

In Tabel 11 zijn de overstromingskansen conform de DPV-norm uit het Deltaprogramma weergegeven (DPV, 2014) en de faalkansen van de dijktrajecten in de referentiesituatie zoals berekend in project VNK2.

Dijkkringtraject		DPV-norm [1/... per jaar]	Faalkans referentiesituatie [1/... per jaar]
21-1	DPV1	3.000	208
21-2	DPV2	300	158

Tabel 11: Overstromingskansen dijkkring 21, Hoekse Waard.

5.2 Inrichtingsvarianten

Naast de referentieberekening van het huidige stelsel van compartimenteringskeringen in de dijkkring (huidig) en de varianten zonder (geen) en met volledig kerende compartimenteringskeringen (hoog) zijn er drie inrichtingsvarianten van de compartimenteringskeringen doorgerekend. Dit zijn:

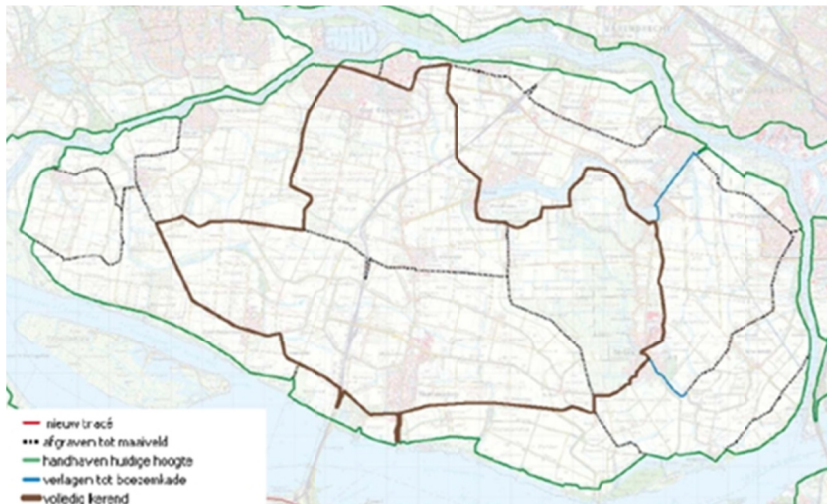
- IRV4 'Radiaal stelsel'
In deze variant worden de relatief kleine compartimenten aan het noord-, west en zuidoosten samengevoegd.
- IRV5 'Zeeklei eiland'
Bij Rijnmond Drechtsteden worden verschillende ruimtelijke ontwikkelingsstrategieën beschouwd. Eén van de strategieën vormen de Robuuste Zeeklei Eilanden. In deze variant wordt een binnering gecreëerd in de dijkkring en worden de compartimenteringskeringen daarbuiten verwijderd.

- IRV6

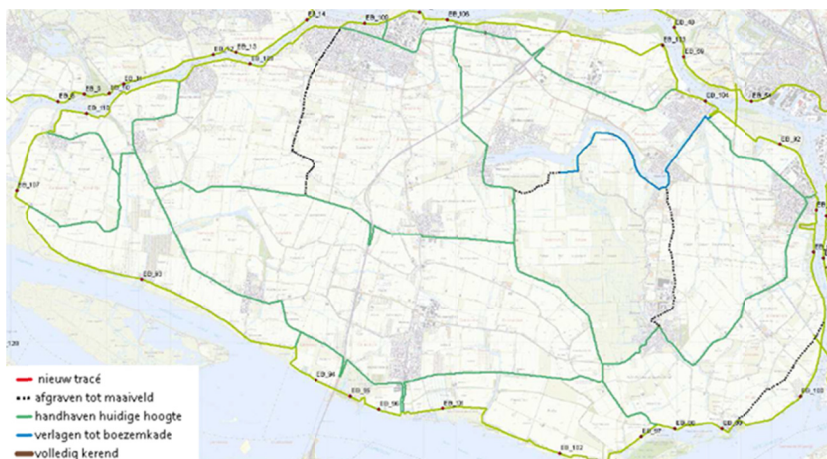
Ten opzichte van de huidige inrichting worden enkele compartimenteringskeringen afgegraven en de kering langs de Binnenbedijkte Maas wordt verlaagd tot boezemkade.



Dijkkring 21, IRV4



Dijkkring 21, IRV5



Dijkkring 21, IRV6

Figuur 25: Extra inrichtingsvarianten dijkkring 21, Hoekse Waard.

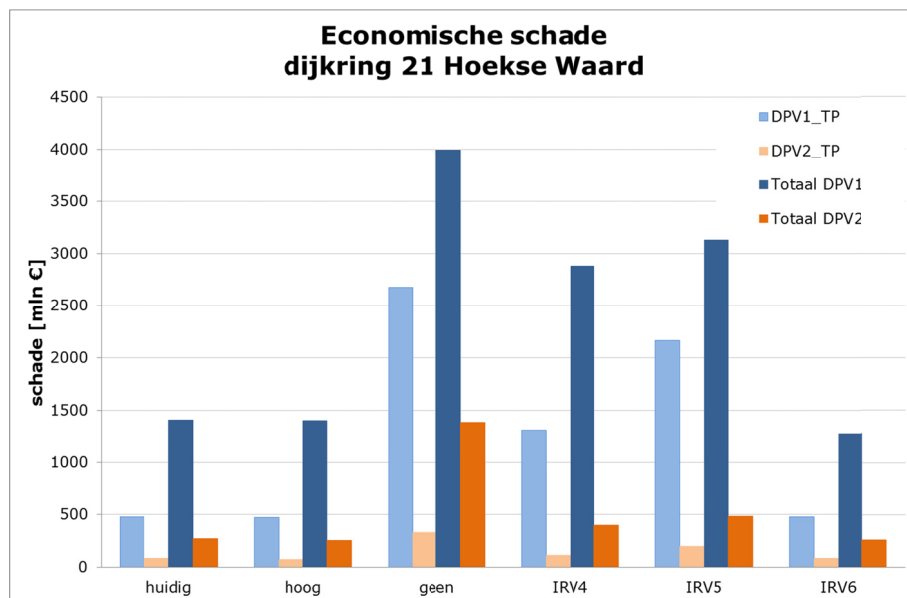
5.3 Resultaten

5.3.1 Gevolgen

Voor de inrichtingsvarianten is onderzocht wat het effect is van het verhogen of verlagen van specifieke keringen op de totale gevolgen. De vermelde bedragen zijn inclusief slachtoffers en getroffen, berekend voor 2050 (conform DPV-systematiek).

Economische schade

Figuur 26 toont de economische schade voor 2050, inclusief slachtoffers en getroffen, uitgesplitst per DPV traject. Naast de totale schade is ook de schade bij toetspeil weergegeven.



Figuur 26: Economische schade dijkkring 21, Hoekse Waard.

De huidige inrichting en inrichtingsvariant 'hoog' geven vergelijkbare schade door overstroming. Dit wordt verklaard doordat de compartimenteringskeringen vrijwel volledig kerend zijn voor de onderzochte overstromingsscenario's. De grootste schade treedt op in de situatie waarin de compartimenteringskeringen zijn verlaagd. De economische schade van IRV6 is het laagst van alle inrichtingsvarianten, maar niet significant lager dan in de huidige inrichting of de situatie waarin alle compartimenteringskeringen volledig waterkerend zijn.

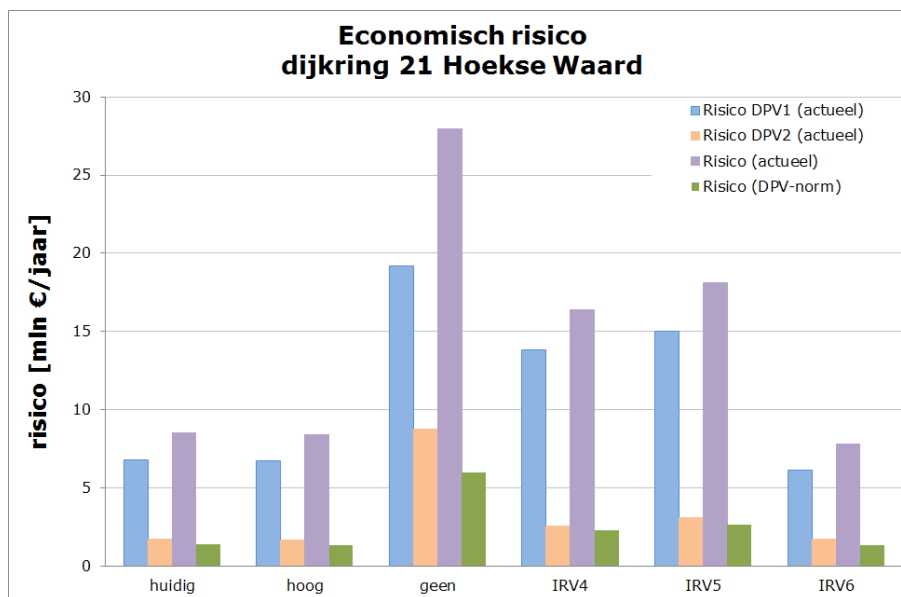
Ook inrichtingsvarianten IRV4 en IRV5 leiden tot hogere economische schade dan in de huidige inrichting. De schade wordt in alle situaties gedomineerd door traject 21-1 (langs de Oude Maas). Het stedelijk gebied wordt hier immers niet meer beschermd door compartimenteringskeringen.

Het samenvoegen van kleine compartimenten bij IRV4 resulteert in meer schade omdat een groter gebied overstroomt. Ook de inrichtingsvariant waarbij het Zeeklei eiland wordt beschermd als ring binnen de dijkkring resulteert overall in meer schade. De toename van de economische schade van IRV5 wordt veroorzaakt door het afgraven van de compartimenteringskeringen daar omheen. In de huidige inrichting ontstaan er geen interne bressen in de binnenring en door de grotere compartimenten inundeert een groot gebied.

Economisch risico

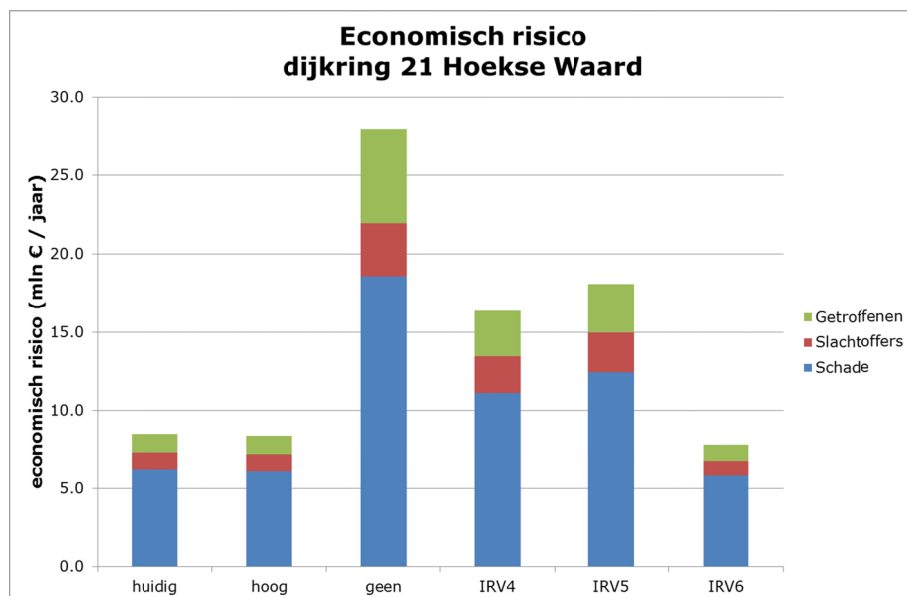
Figuur 27 toont het economisch risico per inrichtingsvariant, voor zowel de faalkans in de referentiesituatie als voor de DPV-norm. De huidige inrichting heeft vrijwel dezelfde risico's als variant 'hoog'. Het economisch risico wordt grotendeels bepaald door de schade in traject 21-1 (langs de Oude Maas). De DPV-norm waarin de overstromingskans op dit traject een factor 10 kleiner is dan traject 21-2 compenseert dit. Met de DPV-norm wordt het economisch risico flink gereduceerd; het risico neemt toe als de compartimenteringskeringen worden verwijderd.

IRV6 kent het laagste risico, maar het risico is niet significant lager dan voor de huidige inrichting en voor inrichtingsvariant 'hoog'. Het economisch risico van de overige inrichtingsvarianten (IRV 'geen', IRV4 en IRV5) is 2-3 keer hoger dan van de huidige inrichting.



Figuur 27: Economisch risico dijkkring 21, Hoekse Waard.

Figuur 28 toont de uitsplitsing van het totale schadebedrag in materiële schade en economisch waardeverlies aan (dodelijke) slachtoffers en getroffen. Het risico is berekend voor de faalkans in de referentiesituatie. Het economisch risico van de inrichtingsvarianten wordt voor 70 tot 75% bepaald door de materiële schade. Slachtoffers en getroffen bepalen voor 25 tot 30% het economisch risico.



Figuur 28: Economisch risico dijkkring 21, Hoekse Waard, uitgesplitst in materiële schade en economische schade van slachtoffers en getroffen (faalkans referentiesituatie).

5.3.2 Kosten

In Tabel 12 staan de kosten voor de beschouwde inrichtingsvarianten uitgewerkt. Per inrichtingsvariant wordt weergegeven:

- de lengte van compartimenteringskering die op hoogte is (wel belast, maar voldoende hoog), die onbelast is (waarvan de hoogte dus niet belangrijk is voor de beschouwde situaties), die opgehoogd moet worden en die afgegraven wordt (volgens specificatie van de inrichtingsvariant);
- de investeringskosten, opgesplitst naar ophogen, verlagen (afgraven) en het verleggen van leidingenkruisingen met gevaarlijke stoffen door de compartimenteringskering;
- de kosten voor beheer en onderhoud.

Voor beheer en onderhoudskosten wordt uitgegaan van vijf euro per meter per jaar.

IRV	Lengte [km]					Investeringskosten [mln €]				BenO [mln €/jaar]
	Op hoogte	onbelast	ophogen	verlagen	totaal	ophogen	verlagen	leidingen	totaal	
Hoog	89,1	25,7	3,8	0,0	118,7	10,5	0,0	0,2	10,7	0,59
Geen	0,3	0,0	0,0	118,4	118,7	0,0	125,0	0,0	125,0	0,00
IRV4	78,5	10,6	2,2	27,3	118,7	5,6	28,4	0,0	33,9	0,46
IRV5	52,6	1,6	3,2	61,3	118,7	6,8	63,8	0,0	70,6	0,29
IRV6	93,8	0,0	0,0	24,8	118,7	0,0	26,4	2,8	29,2	0,47

Tabel 12: Investeringskosten per inrichtingsvariant voor dijkkring 21, Hoekse Waard.

De kosten voor het verlagen van de compartimenteringskeringen zijn in dit geval veel hoger dan het (gedeeltelijk) op hoogte brengen. De investeringskosten van IRV6 – de variant met het laagste economische risico – zijn lager dan van IRV4 en IRV5.

5.3.3 Kosten-baten

De kosten van een inrichtingsvariant zijn de som van de investeringskosten en de jaarlijks verwachte kosten voor beheer en onderhoud. De baten van compartimenteringskeringen liggen in het voorkomen van overstromingsschade ten opzichte van de inrichting in de huidige situatie. Deze worden uitgedrukt in contante waarde om kosten-baten over een oneindige tijdshorizon uit te kunnen voeren. De contante waarde van de overstromingsschade is vermeld in Tabel 13. De 2^e kolom bevat de contante waarde van het economisch risico. In de 3^e kolom staat de contante waarde van de realisatie- en instandhoudingskosten van de inrichtingsvariant. In de 4^e kolom zijn deze kosten gesommeerd tot de totale kosten per inrichtingsvariant. In de 5^e kolom wordt de kosteneffectiviteit weergegeven van een inrichtingsvariant ten opzichte van de huidige situatie; een positief getal betekent dat een inrichtingsvariant rendabel is en een negatief getal betekent dat de huidige inrichting economisch gunstiger is.

IRV	Contante waarde economisch risico [mln €]	Contante waarde kosten van investering en BenO [mln €]	Contante waarde totale kosten [mln €]	Contante waarde totale kosten t.o.v. huidige inrichting [mln €]
Huidig	122.2	16.4	138.6	-
Hoog	120.7	27.2	147.9	-9.3
Geen	402.5	125.0	527.5	-389.0
IRV4	235.7	46.7	282.5	-143.9
IRV5	260.2	78.6	338.8	-200.2
IRV6	112.1	41.1	153.2	-14.6

Tabel 13: Kosten-baten van compartimenteringskeringen dijkkring 21 voor de faalkans in de referentiesituatie, uitgerekend over een oneindige tijdshorizon.

Voor alle inrichtingsvarianten geldt dat de totale kosten hoger zijn dan de kosten van de huidige inrichting. Het economisch risico van varianten 'hoog' en IRV6 is weliswaar lager dan het risico in de huidige inrichting, maar de kosten voor het realiseren hiervan zijn hoog, waardoor dit in totaal duurder uitvalt dan het behouden van het huidige stelsel van compartimenteringskeringen.

Vanuit economisch oogpunt zijn de beschouwde varianten voor compartimenteringskeringen van dijkkring 21 daarom niet zinvol. Op basis van de DPV-norm neemt het economisch risico af. Ook met de DPV-norm zijn de inrichtingsvarianten vanuit economisch oogpunt niet rendabel (Tabel 14).

IRV	Contante waarde economisch risico [mln €]	Contante waarde kosten van investering en BenO [mln €]	Contante waarde totale kosten [mln €]	Contante waarde totale kosten t.o.v. huidige inrichting [mln €]
Huidig	19.9	16.4	36.2	-
Hoog	19.2	27.2	46.4	-10.1
Geen	85.5	125.0	210.6	-174.3
IRV4	32.9	46.7	79.6	-43.3
IRV5	38.1	78.6	116.7	-80.5
IRV6	18.9	41.1	59.9	-23.7

Tabel 14: Kosten-baten van compartimenteringskeringen dijkkring 21 voor de DPV-norm, uitgerekend over een oneindige tijdshorizon.

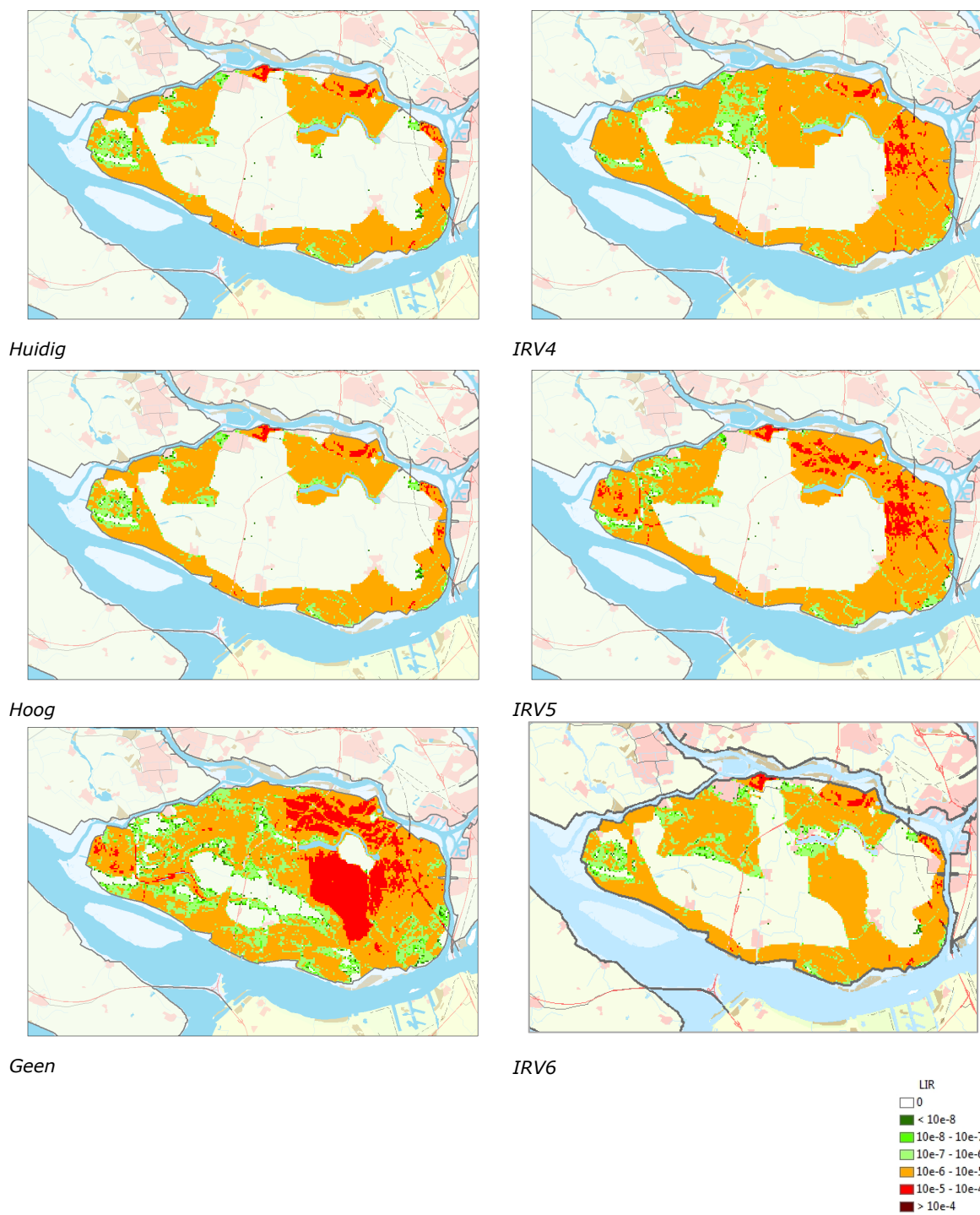
5.3.4 Lokaal individueel risico

Voor iedere inrichtingsvariant is het LIR berekend voor zowel de faalkans in de referentiesituatie (Figuur 29) als voor de DPV-norm (Figuur 30). De rode plekken op de LIR kaarten geven aan op welke plaats het LIR groter is dan 10^{-5} per jaar. In eerste instantie zijn er voor elk DPV-traject aparte LIR-kaarten gemaakt. Vervolgens zijn de kaarten van de verschillende DPV-trajecten gesommeerd om te komen tot een totale LIR-kaart per inrichtingsvariant.

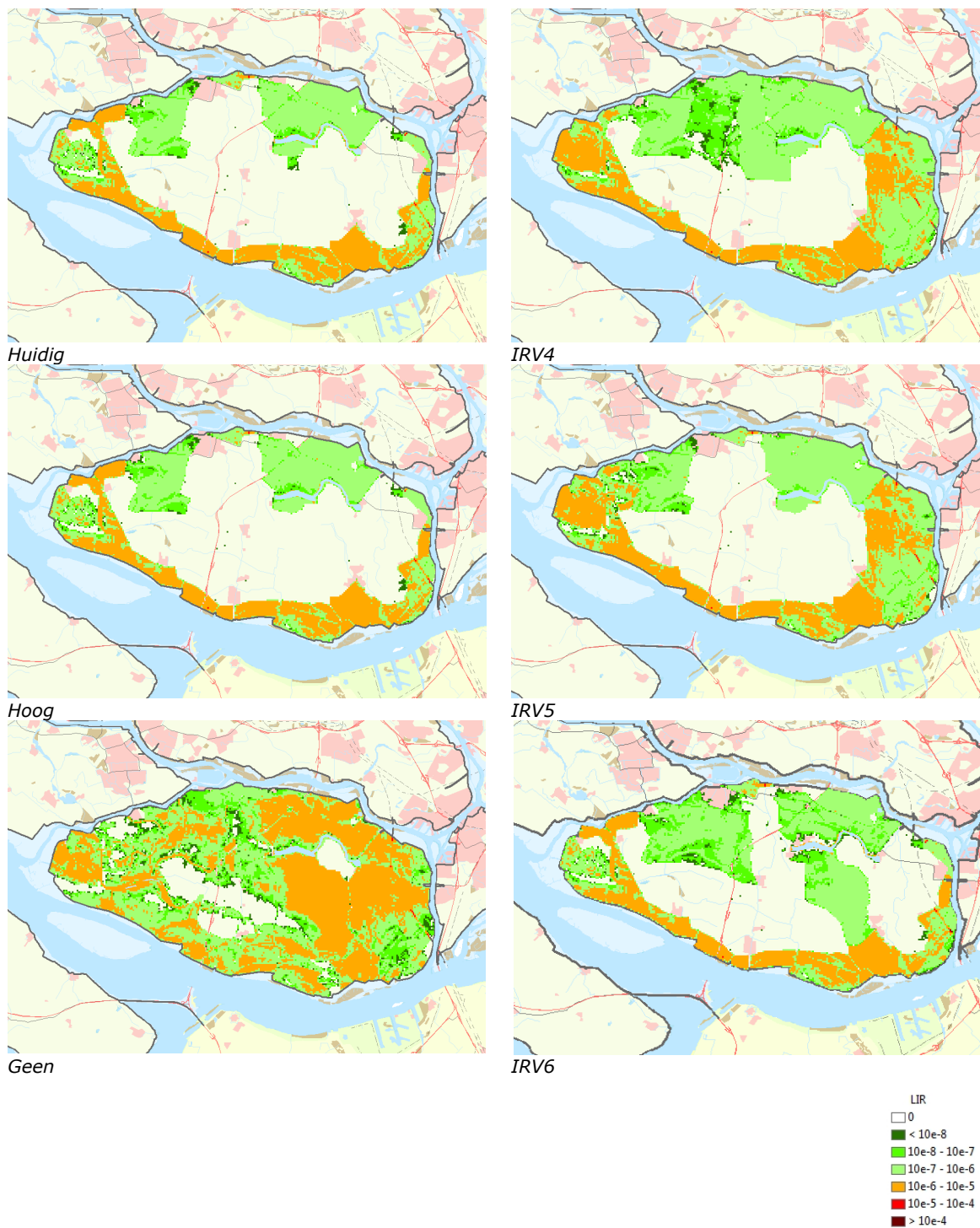
Voor de faalkansen in de referentiesituatie van dijkkring 21 zijn er in elke inrichtingsvariant gebieden waar het LIR lokaal hoger is dan 10^{-5} per jaar. Dit geldt voornamelijk voor de stedelijke gebieden als Oud-Beijerland, Puttershoek en rondom 's Gravenlande. Opvallend is dat het LIR in IRV 'laag' aan de buitenrand van de dijkkring kleiner wordt, maar dat er een groot gebied is in het centrum van dijkkring 21 waar het LIR hoger is dan 10^{-5} . Dit komt doordat dit gebied in deze variant bij meerdere doorbraaklocaties wordt bedreigd en niet meer beschermd wordt door compartimenteringskeringen. Voor de economisch meest gunstige varianten (IRV 'huidig', 'hoog' en IRV6) zijn de verschillen marginaal.

Voor de faalkansen in de referentiesituatie van dijkkring 21 voldoet geen van de inrichtingsvarianten aan de LIR-norm. Dit geldt voor de stedelijke gebieden als Oud-Beijerland, Puttershoek en rondom 's Gravenlande.

Met de overstromingskansen volgens de DPV-norm voldoet dijkkring 21 voor alle inrichtingsvarianten vrijwel aan de LIR-norm. Zeer lokaal zijn er enkele locaties die niet voldoen (maar nauwelijks zichtbaar op de kaart). Een analyse op buurtniveau zou moeten uitwijzen of aan de LIR-eis wordt voldaan.



Figuur 29: LIR-kaarten dijkkring 21 (Hoekse Waard) op basis van de faalkans in de referentiesituatie.



Figuur 30: LIR-kaarten dijkkring 21 (Hoekse Waard) op basis van de DPV-norm.

5.4 Samenvatting dijkkring 21 – Hoekse Waard

Voor dijkkring 21, Hoekse Waard, is geen van de onderzochte inrichtingsvarianten economisch rendabel ten opzichte van het huidige stelsel van compartimenteringskeringen. Dit geldt bij zowel de faalkansen van de primaire keringen in de referentiesituatie als op basis van de DPV-norm. De beschouwde inrichtingsvarianten van dijkkring 21 laten het economisch risico toenemen, uitgezonderd voor inrichtingsvariant 'hoog', waarin alle compartimenteringskeringen volledig kerend worden verondersteld en IRV6, waarin enkele compartimenteringskeringen zijn verlaagd. Voor deze varianten zijn de investeringskosten echter zodanig hoog, dat het niet kosteneffectief is ten opzichte van de huidige situatie.

Over het algemeen hebben de compartimenteringskeringen nut, want zonder de compartimenteringskeringen neemt het economisch risico met een factor 3 tot 4 toe ten opzichte van de huidige situatie. De keringen die zijn verlaagd in IRV 6 hebben echter vanuit economisch oogpunt geen toegevoegde waarde. Afwezigheid van deze keringen zorgt immers voor een lager economisch risico dan in de huidige situatie.

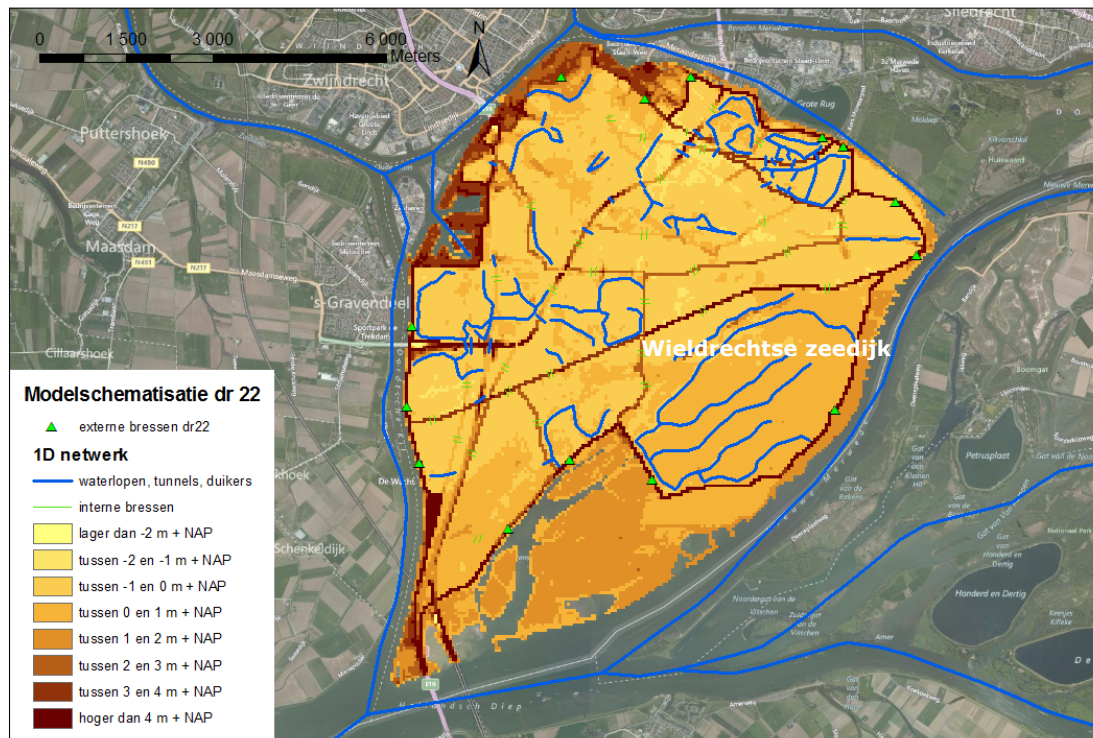
De LIR-kaarten van de meest rendabele inrichtingsvarianten (huidig, 'IRV hoog' en 'IRV6') verschillen nauwelijks van elkaar, zowel voor de faalkansen van de primaire keringen in de referentiesituatie als voor de DPV-norm. Bij het beschermingsniveau in de referentiesituatie zijn er enkele gebieden waar het LIR lokaal hoger is dan 10^{-5} per jaar. Indien de overstromingskans gelijk is aan de DPV-norm wordt voldaan aan de LIR-eis van 10^{-5} per jaar.

Bij de kosten-baten analyse is het stelsel van compartimenteringskeringen als geheel beschouwd. Lokale oplossingen binnen het stelsel van compartimenteringskeringen zijn niet onderzocht. Het is mogelijk dat er optimalisaties mogelijk zijn voor de inrichting van een specifiek dijktraject. Het uitgevoerde onderzoek geeft hiervoor geen concrete aanknopingspunten.

6 Dijkkring 22 – Eiland van Dordrecht

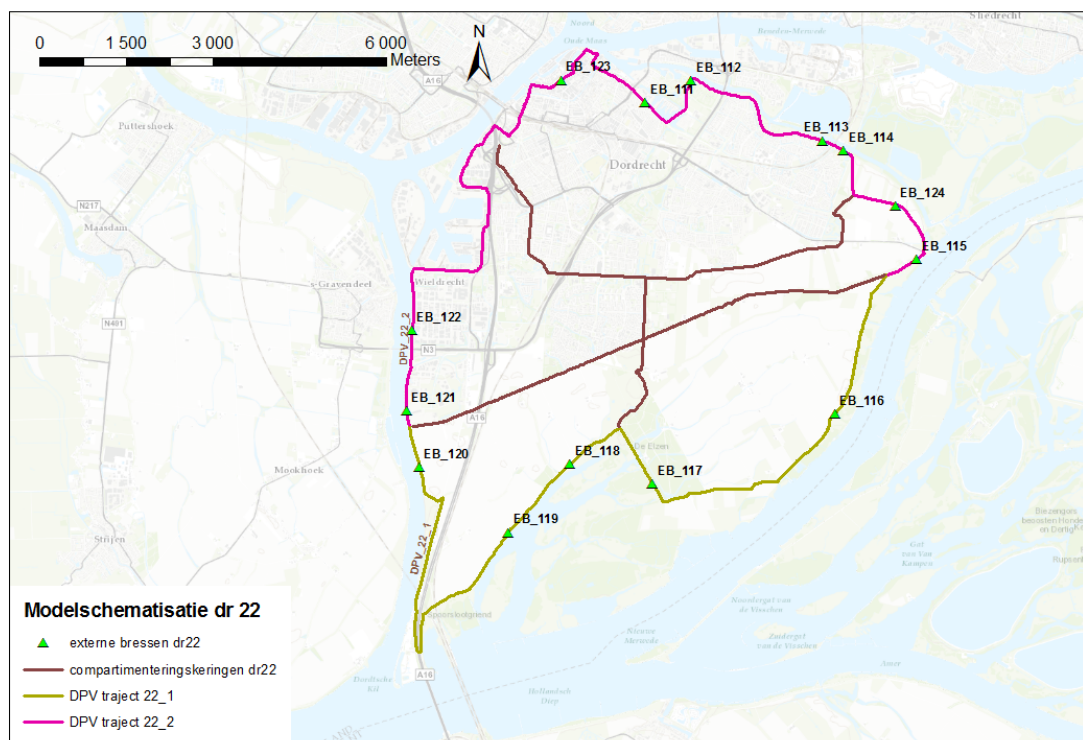
6.1 Algemeen

Dijkkring 22, Eiland van Dordrecht, wordt omsloten door het Wantij en Oude Maas in het noorden, de Nieuwe Merwede in het oosten, de Dordtsche Kil in het westen en het Hollandsch Diep in het zuiden. Het noordelijk deel van de dijkkring bestaat uit stedelijk gebied (de stad Dordrecht), het zuidelijk deel is landelijk- en natuurgebied. De Wioldrechtse zeedijk doorsnijdt het Eiland van Dordrecht van west naar oost (zie Figuur 31).



Figuur 31: Modellschematisatie dijkkring 22 (Eiland van Dordrecht).

De modellschematisatie van dijkkring 22 is weergegeven in Figuur 31. De blauwe lijnen buiten de dijkkring betreffen de schematisatie van het Noordelijk Deltabekken model (NDB-model). De waterlopen binnen de dijkkring bestaan uit een selectie van waterlopen binnen het regionale watersysteem, aangevuld met kunstwerken die de hoge lijnelementen doorkruisen en daarmee het overstromingspatroon kunnen beïnvloeden. Dit betreft duikers en tunnels. Op de plaats van de groene lijnen zijn interne bressen gemodelleerd. De externe bressen worden weergegeven met een groene driehoek (zie ook Figuur 32).



Figuur 32: Externe bressen dijkkring 22 (Eiland van Dordrecht).

Dijkkringtraject		DPV-norm [1/... per jaar]	Faalkans referentiesituatie [1/... per jaar]
22-1	DPV1	3.000	306
22-2	DPV2	10.000	339

Tabel 15: Overstromingskansen dijkkring 22, Eiland van Dordrecht.

Tabel 15 toont de overstromingskansen per DPV traject. In de tweede kolom staat de DPV-norm (strengste norm van het MKBA en het LIR, zo nodig aangescherpt i.v.m. het groepsrisico). In werkelijkheid voldoen echter niet alle keringen aan deze norm. De derde kolom bevat de faalkansen van de keringen in de referentiesituatie.

6.2 Inrichtingsvarianten

Naast de referentieberekening van het huidige stelsel van compartimenteringskeringen in de dijkkring (huidig) en de varianten zonder en met volledige kerende compartimenteringskeringen zijn er vijf inrichtingsvarianten van de compartimenteringskeringen doorgerekend. Dit zijn:

- IRV4 'Kleine ring om Dordrecht'.
In deze inrichtingsvariant wordt de stad Dordrecht met de kleinst mogelijk ring beschermd (zie Figuur 33);
- IRV5 'Noord-Zuid'.
In deze variant wordt het eiland opgedeeld in Noord en Zuid, waarbij een doorbraak aan de oostelijke, riviergedomineerde zijde, wordt afgeleid naar het zuiden (zie Figuur 33);
- IRV6 'Noord-Zuid en Dordrecht'.
In deze variant wordt het zuidwestelijke deel van de stad Dordrecht beschermd door aparte compartimenteringskeringen (zie Figuur 33).

- IRV7

Inrichtingsvariant waarin de dijk ten zuidoosten van Dordrecht wordt afgegraven.

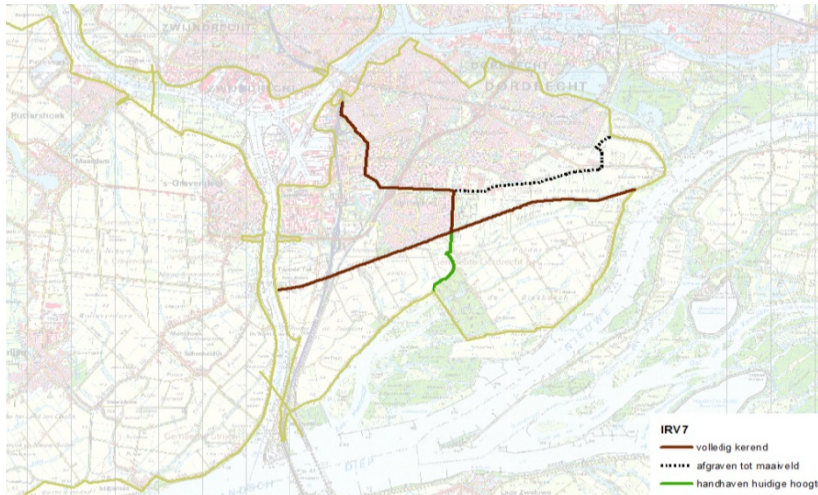
- IRV8

Als IRV6, maar met in de Zuidwestdijk een uitlaatmiddel vergelijkbaar met de Dalemse Overlaten. Het principe hierbij is dat er gaten in de Zuidwestdijk (primaire kering) worden gecreëerd op het moment dat de waterstand binnen de dijkkring hoger is dan de buitenwaterstand, zodat het water kan wegstromen naar het Hollandsch Diep. De vraag is of hiermee de gevolgen van een doorbraak bij Kop van het Land verminderd kunnen worden.

Het uitlaatmiddel in IRV 8 is als volgt gemodelleerd: op het moment dat de waterstand aan de binnenzijde van de Zuidwestdijk hoger is dan de buitenwaterstand, worden er twee gaten van 10 meter breed gecreëerd. Deze gaten kunnen vervolgens door stroming verder in de breedte uitgroeien volgens de bresformule van Verheij-van der Knaap.

*Dijkkring 22, IRV4**Dijkkring 22, IRV5**Dijkkring 22, IRV6*

Figuur 33: Extra inrichtingsvarianten dijkkring 22, Eiland van Dordrecht (IRV4, 5 en 6).



Dijkkring 22, IRV7



Dijkkring 22, IRV8

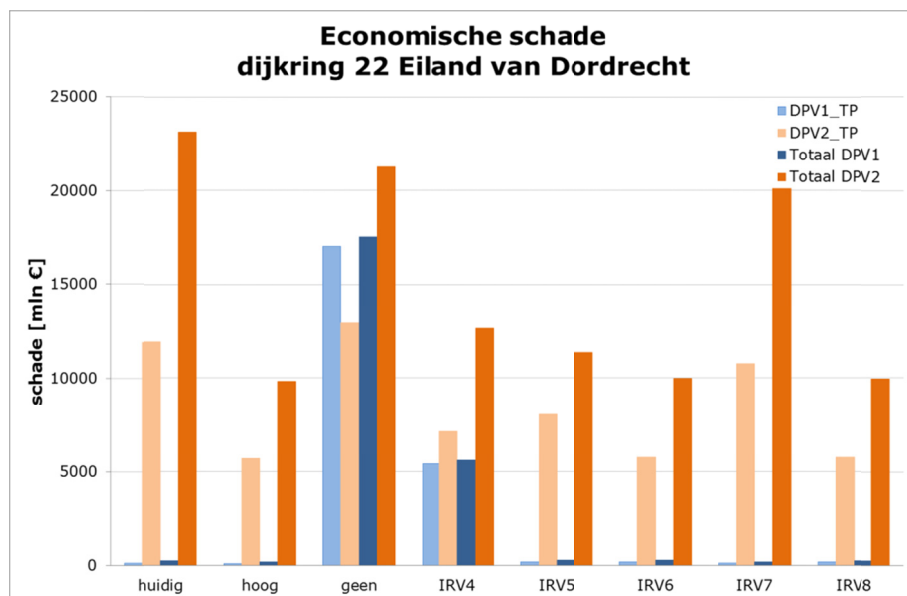
Figuur 34: Extra inrichtingsvarianten dijkkring 22, Eiland van Dordrecht (IRV7, en 8).

6.3 Resultaten

6.3.1 Gevolgen

Economische schade

Figuur 35 toont de economische schade voor 2050, inclusief slachtoffers en getroffen, uitgesplitst per DPV-traject. De schade door overstroming wordt gedomineerd door traject 22-2, aan de oostelijke zijde van de dijkkring.



Figuur 35: Economische schade dijkring 22, Eiland van Dordrecht.

De huidige inrichting leidt tot de hoogste economische schade. In de huidige inrichting treden er geen overstromingen op van de Wieldrechtse Zeedijk (er ontstaan geen interne bressen). Bij overstromingen vanuit de Nieuwe Merwede ontstaan er wel interne bressen in de compartimenteringskering ten noorden van de Wieldrechtse Zeedijk. Hierdoor is er in de huidige inrichting meer schade dan in de situatie 'hoog'. De schade in de huidige inrichting is ook hoger dan in de situatie zonder compartimenteringskeringen. Dit wordt veroorzaakt doordat in de huidige inrichting de waterdieptes binnen de dijkring hoger zijn dan in de situatie zonder compartimenteringskeringen.

Van alle inrichtingsvarianten leiden IRV 'hoog', IRV 6 en IRV 8 tot de laagste economische schade. De verlaagde compartimenteringskeringen in IRV 6 en IRV 8 (Wieldrechtse Zeedijk-Oost en Oude Veerweg) en het uitlaatmiddel bij de Zuidwestdijk hebben weinig invloed op de totale economische schade.

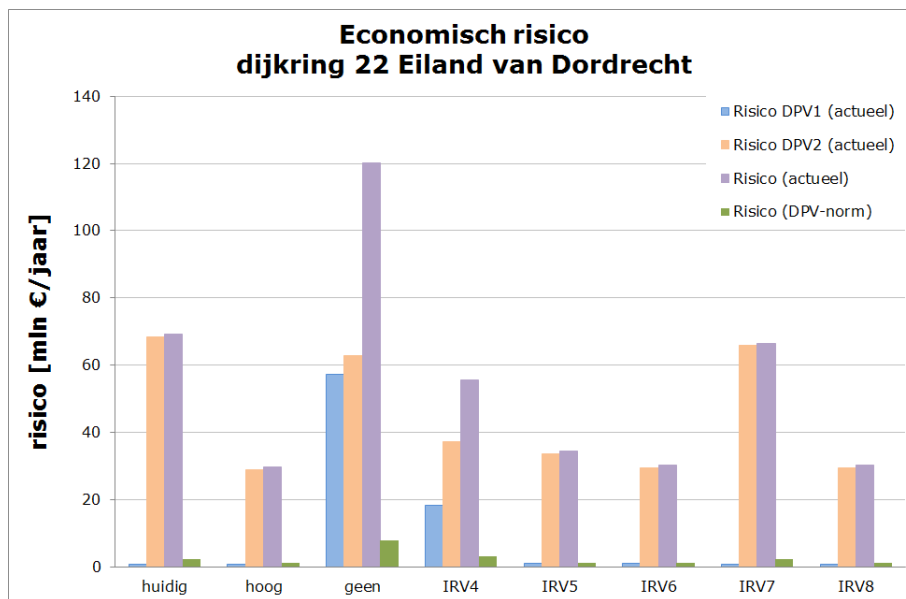
Naast bovengenoemde varianten, resulteren ook IRV4, IRV 5 en IRV 7 alle drie in lagere schade door overstroming vergeleken met de huidige inrichting. Hiervan is IRV 7 het minst gunstig, omdat door het afgraven van de compartimenteringskering ten zuidoosten van Dordrecht, de stad ook wordt bedreigd door overstroming vanuit Kop van 't Land. In IRV 4 neemt de schade in het zuidwesten van Dordrecht enorm toe ten opzichte van de huidige inrichting omdat dit deel niet meer wordt beschermd door de Wieldrechtse Zeedijk. Voor IRV5 neemt de schade in de stad Dordrecht toe bij overstromingen vanuit de Beneden Merwede en Oude Maas omdat de stad niet langer gecompartmenteerd is.

Economisch risico

Figuur 36 toont het economisch risico per inrichtingsvariant, voor zowel de faalkans in de referentiesituatie als voor de DPV-norm.

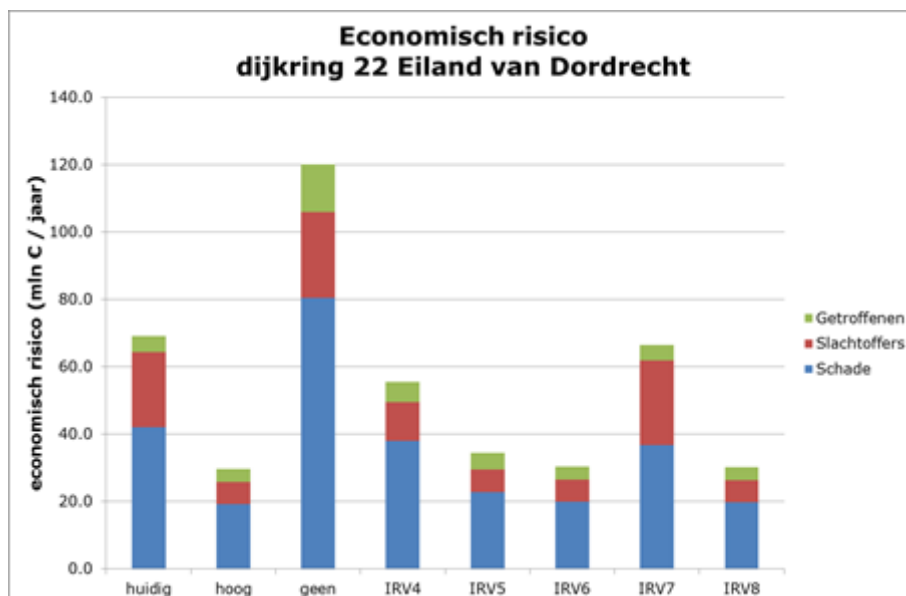
Het risico van IRV5, IRV6 en IRV8 is vergelijkbaar met de variant 'hoog' waarin alle compartimenteringskeringen op hoogte zijn gebracht. Zonder compartimenteringskeringen (situatie 'geen') is het economisch risico in de dijkring duidelijk hoger, hetgeen de meerwaarde van compartimenteringskeringen illustreert.

Het economisch risico in dijkkring 22 wordt gedomineerd door traject DPV2, behalve voor de situaties 'geen' en 'IRV4', omdat de Wieldrechtse Zeedijk in die varianten geen volledige bescherming meer biedt aan Dordrecht.



Figuur 36: Economisch risico dijkkring 22, Eiland van Dordrecht.

Figuur 37 toont de uitsplitsing van het totale schadebedrag in materiële schade en economisch waardeverlies aan (dodelijke) slachtoffers en getroffen. Het risico is berekend voor de faalkans in de referentiesituatie. Het aandeel van de waarde van slachtoffers en getroffen in het totale schadebedrag is voor alle inrichtingsvarianten percentueel gelijk (ongeveer 34%), met uitzondering van 'huidig' (39%) en 'IRV7' (45%). In absolute zin is het aandeel van slachtoffers en getroffen het grootst voor inrichtingsvariant 'geen'.



Figuur 37: Economisch risico dijkkring 22, Eiland van Dordrecht, uitgesplitst in materiële schade en economische schade van slachtoffers en getroffen (faalkans referentiesituatie).

6.3.2 Kosten

In Tabel 16 staan de kosten voor de beschouwde inrichtingsvarianten uitgewerkt. Per inrichtingsvariant wordt weergegeven:

- de lengte van compartimenteringskering die op hoogte is (wel belast, maar voldoende hoog), die onbelast is (waarvan de hoogte dus niet belangrijk is voor de beschouwde situaties), die opgehoogd moet worden en die afgegraven wordt (volgens specificatie van de inrichtingsvariant);
- de investeringskosten, opgesplitst naar ophogen, verlagen (afgraven) en het verleggen van leidingenkruisingen met gevaarlijke stoffen door de compartimenteringskering;
- de kosten voor beheer en onderhoud.

Voor beheer en onderhoudskosten wordt uitgegaan van vijf euro per meter per jaar.

IRV	Lengte [km]					Investeringskosten [mln €]				BenO [mln €/jaar]
	op hoogte	onbelast	ophogen	Verlagen	totaal	ophogen	verlagen	leidingen	totaal	
Hoog	7,0	0,0	13,7	0,0	20,7	36,7	0,0	0,7	37,4	0,10
Geen	0,1	0,0	0,0	20,6	20,7	0,0	18,0	0,0	18,0	0,00
IRV4	0,7	0,0	8,3	11,7	20,7	48,0	7,8	0,2	56,0	0,05
IRV5	2,0	0,0	8,0	10,6	20,7	23,7	9,1	0,0	32,8	0,05
IRV6	4,3	0,0	10,1	6,3	20,7	30,1	3,1	0,2	33,5	0,07
IRV7	10,2	0,0	5,9	4,5	20,7	47,7	4,4	0,5	52,7	0,08
IRV8	7,2	0,0	7,2	6,3	20,7	21,7	3,3	1,3	26,3	0,07

Tabel 16: Investeringskosten per inrichtingsvariant voor dijkkring 22, Eiland van Dordrecht.

De investeringskosten van IRV4 zijn hoger dan voor de situatie 'hoog', terwijl er minder kilometers kering moet worden opgehoogd. Ook zijn de kosten van IRV4 relatief hoog vergeleken met IRV5 met een vergelijkbare versterkingsopgave in aantal kilometers. Dit is te verklaren doordat in IRV4 hogere waterstanden optreden en zodoende hogere, en dus duurdere, keringen benodigd zijn dan voor de situatie 'hoog' en voor IRV5.

Voor IRV8 is voor de uitlaatconstructie in de zuidwestdijk een stelpost aangehouden van 1,5 miljoen euro. De uitlaat wordt beschouwd als een noodmaatregel en is geen structurele maatregel. De kosten zijn een globale inschatting voor het realiseren van de gaten en het herstellen van de kering. Voor IRV8 zijn de investeringskosten daarom in totaal 27,8 mln €.

6.3.3 Kosten-baten

De kosten van een inrichtingsvariant zijn de som van de investeringskosten en de jaarlijks verwachte kosten voor beheer en onderhoud. De baten van compartimenteringskeringen liggen in het voorkomen van overstromingsschade ten opzichte van de inrichting in de huidige situatie. Deze worden uitgedrukt in contante waarde om kosten-baten over een oneindige tijdshorizon uit te kunnen voeren. De contante waarde van de overstromingsschade is vermeld in Tabel 17. De 2^e kolom bevat de contante waarde van het economisch risico. In de 3^e kolom staat de contante waarde van de realisatie- en instandhoudingskosten van de inrichtingsvariant. In de 4^e kolom zijn deze kosten gesommeerd tot de totale kosten per inrichtingsvariant. In de 5^e kolom wordt de kosteneffectiviteit weergegeven van een inrichtingsvariant ten opzichte van de huidige situatie; een positief getal betekent dat een inrichtingsvariant rendabel is en een negatief getal betekent dat de huidige inrichting economisch gunstiger is.

IRV	Contante waarde economisch risico [mln €]	Contante waarde kosten van investering en BenO [mln €]	Contante waarde totale kosten [mln €]	Contante waarde totale kosten t.o.v. huidige inrichting [mln €]
Huidig	994.7	2.8	997.5	-
Hoog	425.5	40.3	465.8	531.8
Geen	1726.4	18.0	1744.4	-746.9
IRV4	799.2	57.4	856.7	140.8
IRV5	495.9	34.2	530.1	467.4
IRV6	435.6	35.5	471.0	526.5
IRV7	955.9	48.6	1004.5	-7.0
IRV8	434.1	28.6	462.7	534.8

Tabel 17: Kosten-baten van compartimenteringskeringen dijkkring 22 voor de faalkans in de referentiesituatie, uitgerekend over een oneindige tijdshorizon.

Vanuit economisch oogpunt zijn alle inrichtingsvarianten rendabel, met uitzondering van IRV 'geen' en 'IRV7'. De baten van IRV Hoog, IRV5, IRV6 en IRV8 liggen allen tussen de 450 en 550 Miljoen Euro. IRV 4 is minder rendabel (141 Miljoen Euro). Het is rendabeler om een groot deel van het Eiland van Dordrecht te beschermen dan alleen de kleine ring om de stad zelf.

Op basis van de DPV-norm neemt het economisch risico af, waardoor de inrichtingsvarianten niet meer rendabel zijn (Tabel 18). Het risico voor de huidige inrichting neemt sterk af, waardoor de kosten niet opwegen tegen de baten.

IRV	Contante waarde economisch risico [mln €]	Contante waarde kosten van investering en BenO [mln €]	Contante waarde totale kosten [mln €]	Contante waarde totale kosten t.o.v. huidige inrichting [mln €]
Huidig	34.5	2.8	37.3	-
Hoog	15.1	40.3	55.4	-18.1
Geen	114.7	18.0	132.6	-95.3
IRV4	45.0	57.4	102.4	-65.1
IRV5	17.7	34.2	51.9	-14.6
IRV6	15.7	35.5	51.2	-13.9
IRV7	33.1	48.6	81.6	-44.3
IRV8	15.6	28.6	44.2	-6.9

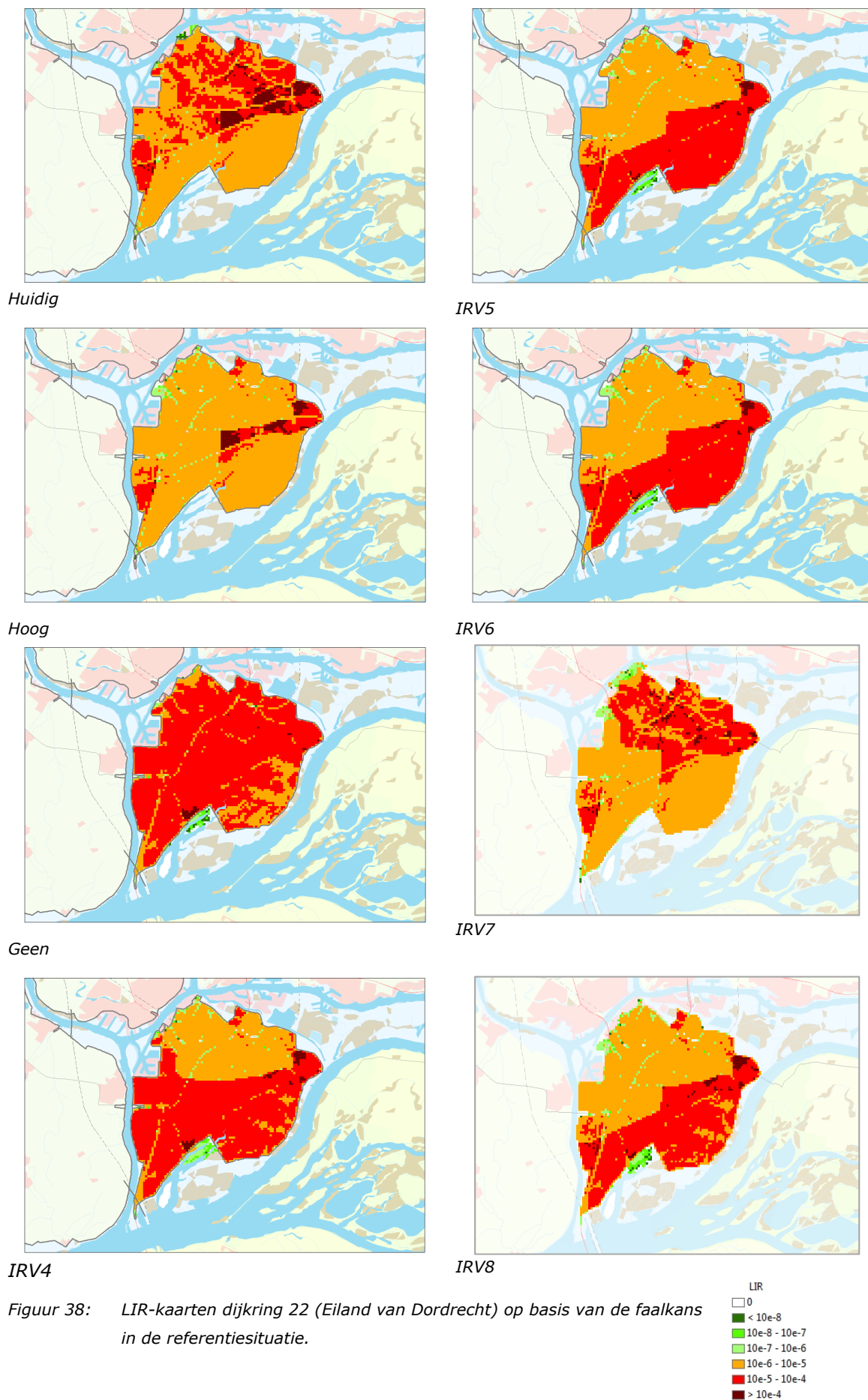
Tabel 18: Kosten-baten van compartimenteringskeringen dijkkring 22 voor de DPV-norm, uitgerekend over een oneindige tijdshorizon.

6.3.4 Lokaal individueel risico

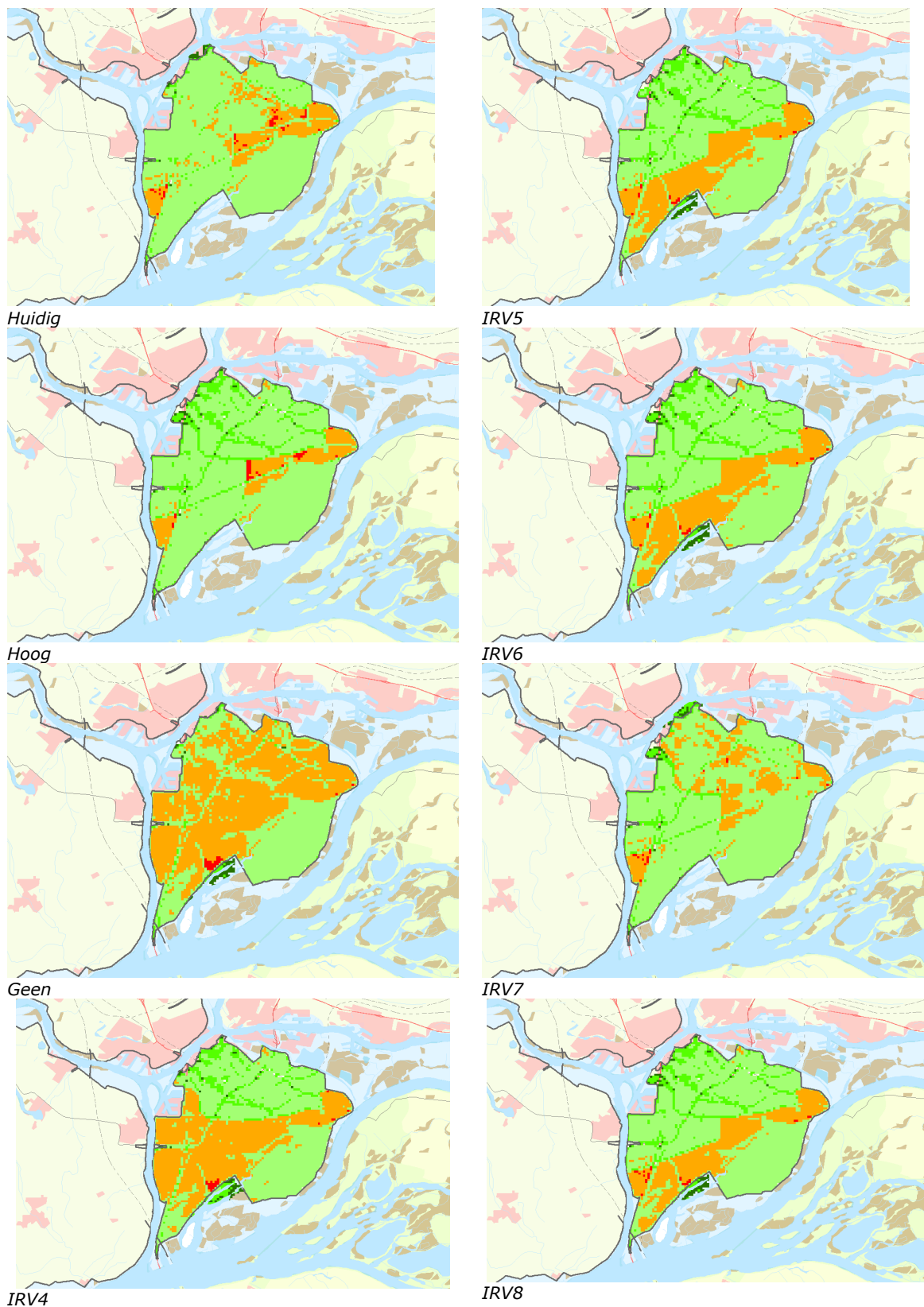
Voor iedere inrichtingsvariant is het LIR berekend voor zowel de faalkans in de referentiesituatie (Figuur 38) als voor de DPV-norm (Figuur 39). De rode plekken op de LIR kaarten geven aan op welke plaats het LIR hoger is dan 10^{-5} per jaar.

Op basis van de faalkans in de referentiesituatie zijn grote delen van de dijkkring roodgekleurd. De verwachting is dat op buurtniveau in geen enkele inrichtingsvariant aan de LIR-eis van 10^{-5} kan worden voldaan. Op basis van de DPV-norm is het LIR beduidend gunstiger. Er zijn nog slechts enkele rode cellen te zien. Een analyse op buurtniveau zou moeten uitwijzen of aan de eis wordt voldaan.

Voor het stedelijk gebied van Dordrecht geldt dat de inrichtingsvarianten 'hoog', 'IRV5', 'IRV6' en 'IRV8' een positief effect hebben op het LIR. De keerzijde is dat deze varianten een negatief effect hebben op het LIR in het landelijke gebied ten zuiden van Dordrecht, met uitzondering van variant 'hoog'.



Figuur 38: LIR-kaarten dijkkring 22 (Eiland van Dordrecht) op basis van de faalkans in de referentiesituatie.



Figuur 39: LIR-kaarten dijkkring 22 (Eiland van Dordrecht) op basis van de DPV-norm.

6.4 Samenvatting dijkkring 22 – Eiland van Dordrecht

Uitgaande van de DPV-normen is geen van onderzochte inrichtingsvarianten economisch rendabel ten opzichte van het huidige stelsel van compartimenteringskeringen. De compartimenteringskeringen hebben nut, want zonder compartimenteringskeringen neemt het economisch risico met een factor 2 tot 4 toe ten opzichte van de huidige situatie. Vanuit economisch oogpunt is bij toepassing van de DPV-normen het handhaven van de huidige ligging en hoogte van compartimenteringskeringen nodig.

Op basis van de faalkans in de referentiesituatie zijn de onderzochte inrichtingsvarianten van dijkkring 22 – Eiland van Dordrecht, vanuit economisch oogpunt rendabel ten opzichte van de huidige inrichting, met uitzondering van IRV 'laag' en IRV7. Het meest rendabel zijn de varianten IRV 'Hoog', IRV5, IRV6 en IRV8. De baten van deze varianten zijn vergelijkbaar en liggen tussen de 450 en 550 miljoen euro. IRV4 is ook kosteneffectief, maar de baten zijn beduidend lager (140 miljoen Euro).

Indien wordt uitgegaan van de DPV-norm dan neemt het economisch risico, bij de huidige inrichting van de compartimenteringskeringen met een factor 30 af. Geen van de inrichtingsvarianten is dan nog rendabel, omdat de kosten niet meer opwegen tegen de baten. In het MIRT-onderzoek Eiland van Dordrecht wordt een nadere verkenning uitgevoerd naar de mogelijkheid om het veiligheidsniveau in dijkkring 22 te vergroten door een combinatie van het versterken van de primaire kering en het aanpassen van het stelsel van compartimenteringskeringen.

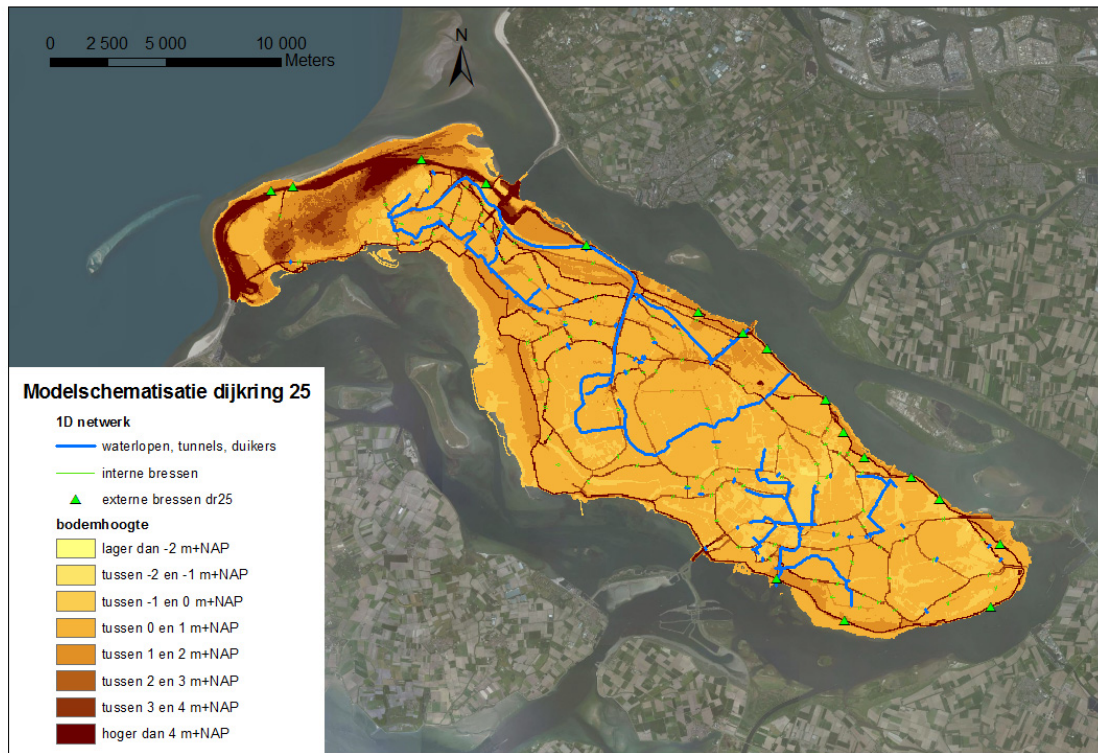
Op basis van de faalkansen in de referentiesituatie voldoet geen van de inrichtingsvarianten aan de LIR-eis van 10^{-5} per jaar. Er zijn grote gebieden met een LIR hoger dan 10^{-5} per jaar. Op basis van de DPV-norm is het LIR veel lager. Desalniettemin zijn er nog enkele plekken binnen de dijkkring waar het LIR nog wel hoger is dan 10^{-5} per jaar.

Bij de kosten-baten analyse is het stelsel van compartimenteringskeringen als geheel beschouwd. Lokale oplossingen binnen het stelsel van compartimenteringskeringen zijn niet onderzocht. Het is mogelijk dat voor de inrichting van een specifiek dijktraject nog optimalisaties mogelijk zijn. Dit aspect wordt verder opgepakt in het MIRT-onderzoek Eiland van Dordrecht.

7 Dijkkring 25 – Goeree-Overflakkee

7.1 Algemeen

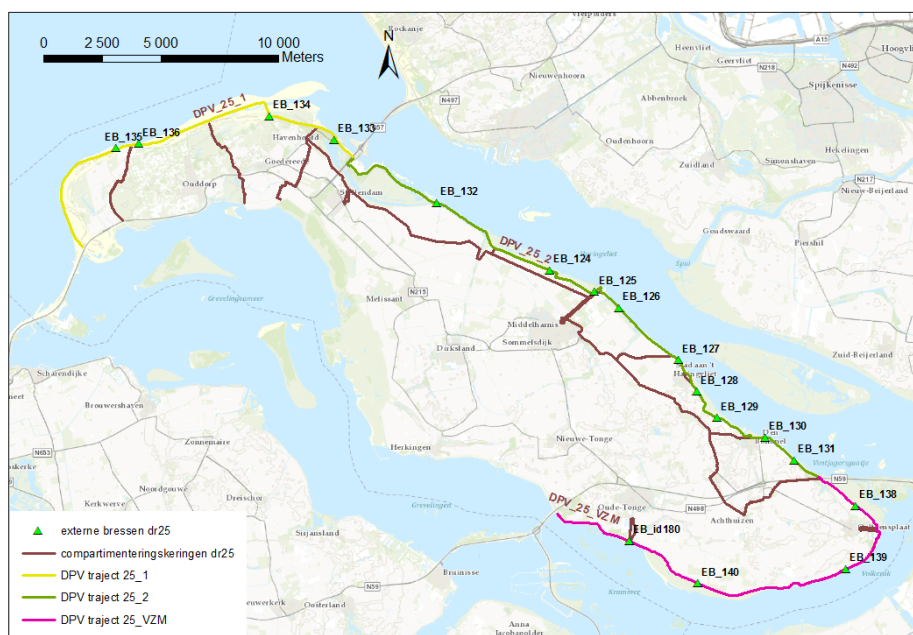
Dijkkring 25, Goeree-Overflakkee, wordt omsloten door het Haringvliet in het noorden, het Volkerak in het zuidoosten, de Grevelingen in het zuidwesten en de Noordzee in het westen. Het Volkerak en de Grevelingen zijn (grote) afgesloten wateren.



Figuur 40: Model schematisatie dijkkring 25 (Goeree-Overflakkee).

De modelschematisatie van dijkkring 25 is weergegeven in Figuur 40. De blauwe lijnen buiten de dijkkring betreffen de schematisatie van het Noordelijk Deltabekken model (NDB-model). De waterlopen binnen de dijkkring bestaan uit een selectie van waterlopen binnen het regionale watersysteem, aangevuld met kunstwerken die de hoge lijnelementen doorkruisen en daarmee het overstromingspatroon kunnen beïnvloeden. Dit betreft duikers en tunnels. Op de plaats van de groene lijnen zijn interne bressen gemodelleerd. De externe bressen worden weergegeven met een groene driehoek (zie ook Figuur 41).

De kering langs de Grevelingen (zuidelijk deel van de dijkkring) is een primaire c-kering. Het Deltaprogramma Veiligheid heeft nog geen besluit genomen hoe in de nieuwe norm omgegaan zal worden met de c-keringen. De kering langs de Grevelingen is daarom in deze studie buiten beschouwing gelaten.



Figuur 41: Externe bressen dijkkring 25 (Goeree-Overflakkee).

De keringen bij EB_id180 (zuiden) en tussen EB138-EB139 (oosten) in Figuur 41 zijn kantelkeringen van de tunnelbuizen (en geen compartimenteringskeringen).

Dijkkringtraject		DPV-norm [1/... per jaar]	Faalkans referentiesituatie [1/... per jaar]
25-1	DPV1	3.000	1.600
25-2	DPV2	1.000	1.200
25-VZM	VZM	300 ⁶	10.000

Tabel 19: Overstromingskansen dijkkring 25, Goeree-Overflakkee.

Voor het dijkkringtraject langs het Volkerak-Zoommeer is geen faalkans in de referentiesituatie berekend. Hiervoor is de overschrijdingsnorm van 1:10.000 per jaar gehanteerd. Mede omdat zonder waterberging op het Volkerak-Zoommeer is gerekend is dit een redelijke aanname.

7.2 Inrichtingsvarianten

Naast de referentieberekening van het huidige stelsel van compartimenteringskeringen in dijkkring 25 en de varianten zonder en met volledige kerende compartimenteringskeringen is één inrichtingsvariant van de compartimenteringskeringen doorgerekend. Dit is:

- IRV4 'Kop van Goeree en polders Haringvliet' (zie Figuur 42):
In deze variant worden bestaande compartimenteringskeringen verwijderd zodat op de Kop van Goeree de drie (kleinere) compartimenten worden samengevoegd tot één groot compartiment. Hetzelfde geldt voor de drie (kleinere) compartimenten langs het Haringvliet tussen Middelharnis en de Rijksweg N59.

⁶ Bron: Ontwerpwijziging Waterwet, 22 april 2015, Ministerie van Infrastructuur en Milieu
https://www.internetconsultatie.nl/ontwerpwijziging_waterwet/document/1621



Figuur 42: Dijkkring 25 Goeree-Overflakkee, inrichtingsvariant 4.

7.3 Resultaten

7.3.1 Gevolgen

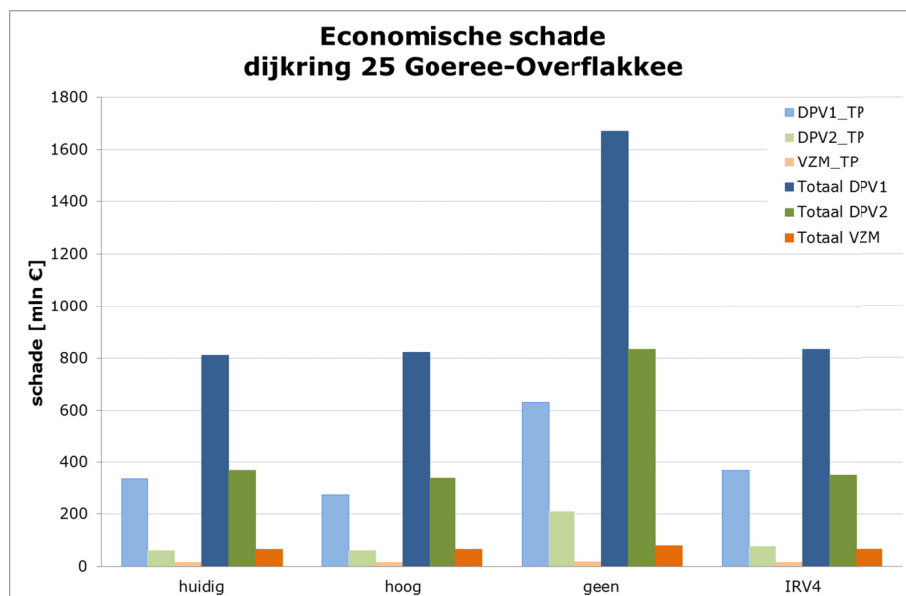
De economische schade in de huidige inrichting is vergelijkbaar met de schade in de situatie 'hoog' wat erop duidt dat de compartimenteringskeringen vrijwel overal niet overstromen. Bij Middelharnis ontstaat een interne bres. Op de Kop van Goeree is de compartimenteringskering westelijk van Ouddorp niet voldoende hoog met als gevolg dat bij een bres westelijk van de compartimenteringskering ook Ouddorp onderloopt en dus de schade toeneemt. Andersom stroomt bij een bres bij Ouddorp het water naar het westelijke compartiment waardoor de schade juist afneemt.

Als alle compartimenteringskeringen worden verwijderd, verdubbelt de schade door overstrooming.

In IRV4 worden de compartimenten op de Kop van Goeree en de polders langs het Haringvliet samengenomen. Voor het grote compartiment op de Kop van Goeree geldt dat de schade van de drie breslocaties samen minder is dan in de huidige inrichting. Voor de polders langs het Haringvliet is de schade groter door het samenvoegen van de compartimenten.

Economische schade

Figuur 43 toont de economische schade voor 2050, inclusief slachtoffers en getroffen, uitgesplitst per DPV traject. Naast de totale schade is ook de schade bij toetspeil weergegeven.

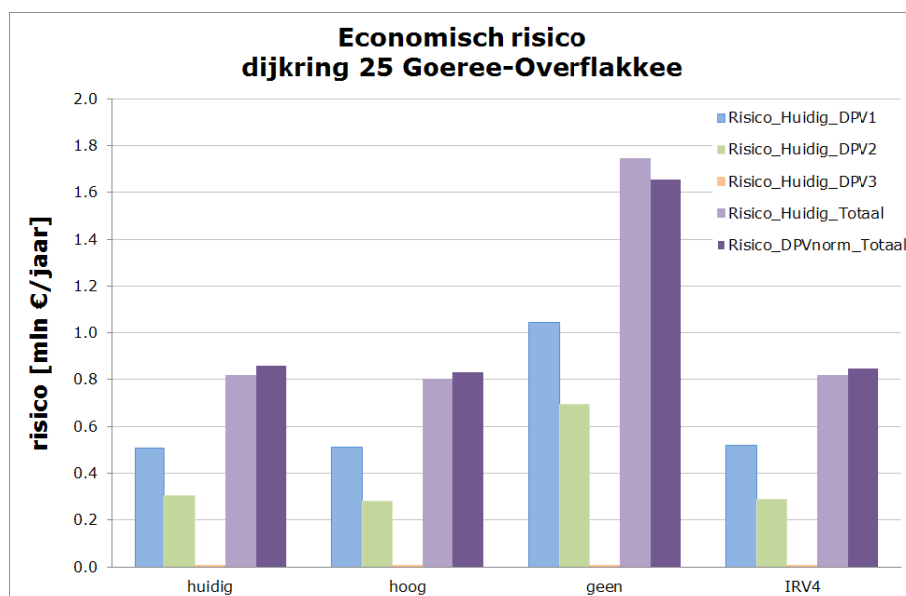


Figuur 43: Economische schade dijkkring 25, Goeree-Overflakkee.

De economische schade is voor alle inrichtingsvarianten vergelijkbaar, met uitzondering van inrichtingsvariant 'geen'. De grootste schade wordt veroorzaakt door overstromingen vanuit de Noordzee (normtraject 25-1). De schade door overstromingen vanuit het Volkerak-Zoommeer (25-VZM) is zeer beperkt in relatie tot de overige trajecten.

Economisch risico

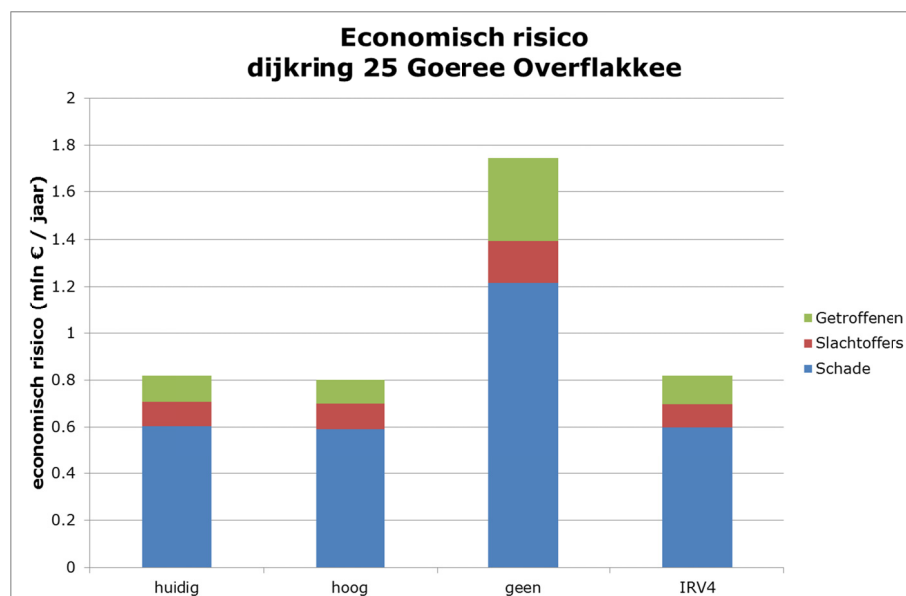
Figuur 44 toont het economisch risico per inrichtingsvariant, voor zowel de faalkans in de referentiesituatie als voor de DPV-norm. Opvallend is dat voor dijkkring 25 de DPV-norm zorgt voor een toename van het economisch risico ten opzichte van de huidige inrichting. Dit komt doordat de overstromingskansen langs het Haringvliet en Volkerak-Zoommeer toenemen.



Figuur 44: Economisch risico dijkkring 25, Goeree-Overflakkee.

Figuur 37 toont de uitsplitsing van het totale schadebedrag in materiële schade en economisch waardeverlies aan (dodelijke) slachtoffers en getroffen. Het risico is berekend voor de

faalkans in de referentiesituatie. Het aandeel van de waarde van slachtoffers en getroffenen in het totale schadebedrag is voor alle varianten percentueel gelijk (ongeveer 27%). In absolute zin is het aandeel van slachtoffers en getroffenen het grootst voor inrichtingsvariant 'geen'.



Figuur 45: Economisch risico dijkkring 25, Goeree-Overflakkee, uitgesplitst in materiële schade en economische schade van slachtoffers en getroffenen (faalkans referentiesituatie).

7.3.2 Kosten

In Tabel 20 staan de kosten voor de beschouwde inrichtingsvarianten uitgewerkt. Per inrichtingsvariant wordt weergegeven:

- de lengte van compartimenteringskering die op hoogte is (wel belast, maar voldoende hoog), die onbelast is (waarvan de hoogte dus niet belangrijk is voor de beschouwde situaties), die opgehoogd moet worden en die afgegraven wordt (volgens specificatie van de inrichtingsvariant);
- de investeringskosten, opgesplitst naar ophogen, verlagen (afgraven) en het verleggen van leidingenkruisingen met gevaarlijke stoffen door de compartimenteringskering;
- de kosten voor beheer en onderhoud.

Voor beheer en onderhoudskosten wordt uitgegaan van vijf euro per meter per jaar.

IRV	Lengte [km]					Investeringskosten [mln €]				BenO [mln €/jaar]
	Op hoogte	onbelast	ophogen	verlagen	totaal	ophogen	verlagen	leidingen	totaal	
Hoog	43,9	2,6	12,9	0,0	59,4	27,7	0,0	0,0	27,7	0,30
Geen	0,7	0,0	0,0	58,8	59,4	0,0	24,0	0,0	24,0	0,00
IRV4	41,4	1,7	4,2	12,2	59,4	13,8	4,7	0,0	18,5	0,24

Tabel 20: Investeringskosten per inrichtingsvariant voor dijkkring 25, Goeree-Overflakkee.

Voor inrichtingsvariant 'hoog' is het overgrote deel van de compartimenteringskeringen op hoogte en hoeft niet te worden aangepast. Dit is consistent met het geringe verschil in economische schade met de huidige inrichting.

7.3.3 Kosten-baten

De kosten van een inrichtingsvariant zijn de som van de investeringskosten en de jaarlijks verwachte kosten voor beheer en onderhoud. De baten van compartimenteringskeringen liggen in het voorkomen van overstromingsschade ten opzichte van de inrichting in de huidige situatie. Deze worden uitgedrukt in contante waarde om kosten-baten over een oneindige tijdshorizon uit te kunnen voeren. De contante waarde van de overstromingsschade is vermeld in Tabel 21. De 2^e kolom bevat de contante waarde van het economisch risico. In de 3^e kolom staat de contante waarde van de realisatie- en instandhoudingskosten van de inrichtingsvariant. In de 4^e kolom zijn deze kosten gesommeerd tot de totale kosten per inrichtingsvariant. In de 5^e kolom wordt de kosteneffectiviteit weergegeven van een inrichtingsvariant ten opzichte van de huidige situatie; een positief getal betekent dat een inrichtingsvariant rendabel is en een negatief getal betekent dat de huidige inrichting economisch gunstiger is.

IRV	Contante waarde economisch risico [mln €]	Contante waarde kosten van investering en BenO [mln €]	Contante waarde totale kosten [mln €]	Contante waarde totale kosten t.o.v. huidige inrichting [mln €]
Huidig	11.5	6.9	18.4	-
Hoog	11.5	34.6	46.1	-27.7
Geen	24.4	24.0	48.5	-30.1
IRV4	11.5	24.0	35.5	-17.1

Tabel 21: Kosten-baten van compartimenteringskeringen dijkkring 25 voor de faalkans in de referentiesituatie, uitgerekend over oneindige tijdshorizon.

Geen van de varianten voor compartimenteringskeringen levert significante baten op, er is daarom geen economische reden voor de inrichtingsvarianten in dijkkring 25. Economisch gezien is handhaven van het huidige stelsel van compartimenteringskeringen de beste optie. In de loop der tijd zal de toestand van de compartimenteringskeringen teruglopen waardoor het economisch risico toeneemt.

Met de DPV-norm voor de overstromingskansen van de primaire keringen neemt het economisch risico toe door de grotere overstromingskansen. Het beeld met betrekking tot de effecten van de inrichtingsvarianten verandert niet (Tabel 22).

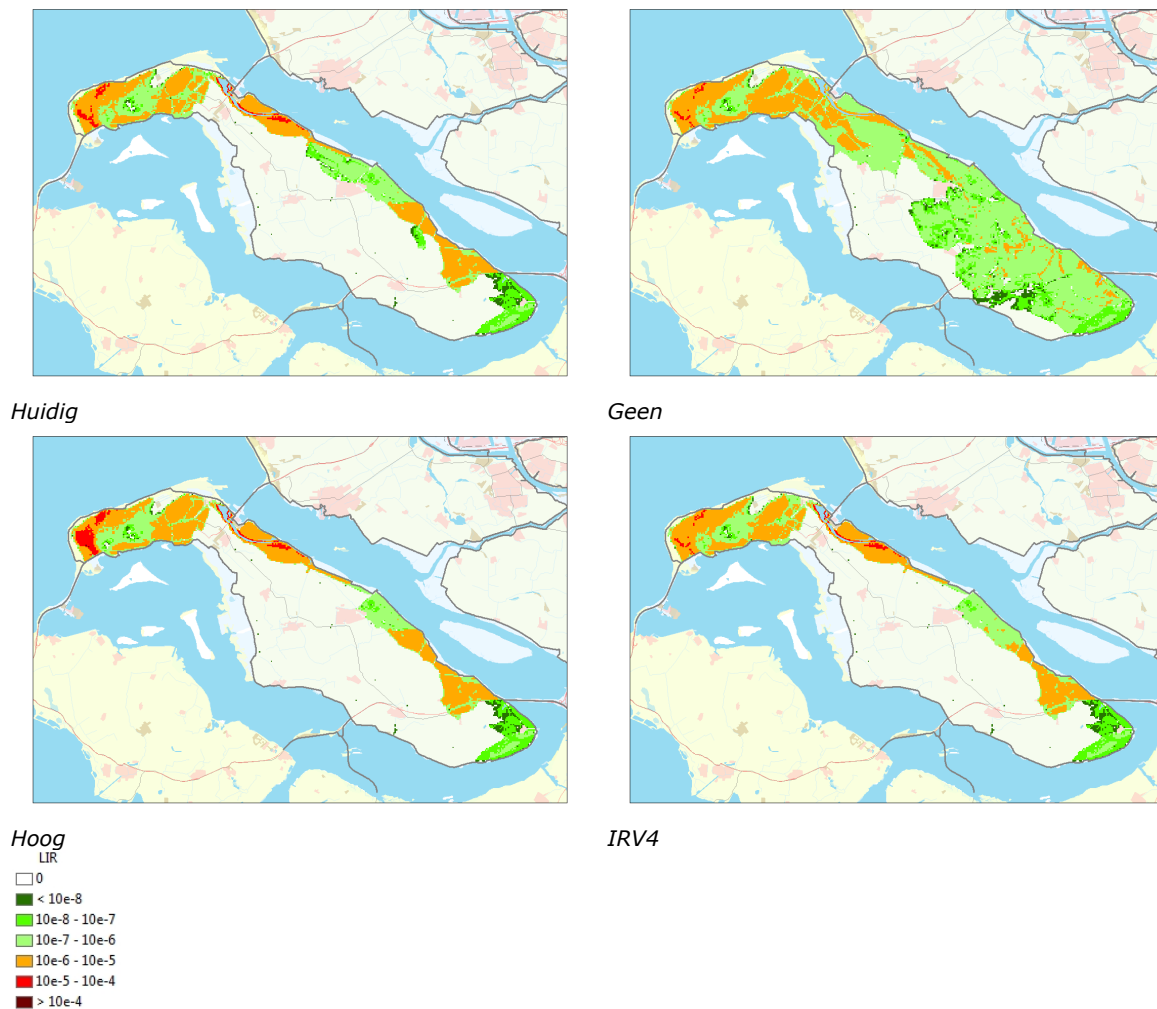
IRV	Contante waarde economisch risico [mln €]	Contante waarde kosten van investering en BenO [mln €]	Contante waarde totale kosten [mln €]	Contante waarde totale kosten t.o.v. huidige inrichting [mln €]
Huidig	12.9	6.9	19.8	-
Hoog	11.5	34.6	46.1	-26.2
Geen	24.4	24.0	48.5	-28.6
IRV4	11.5	24.0	35.5	-15.6

Tabel 22: Kosten-baten van compartimenteringskeringen dijkkring 25 voor de DPV-norm, uitgerekend over periode van 50 jaar.

7.3.4 Lokaal individueel risico

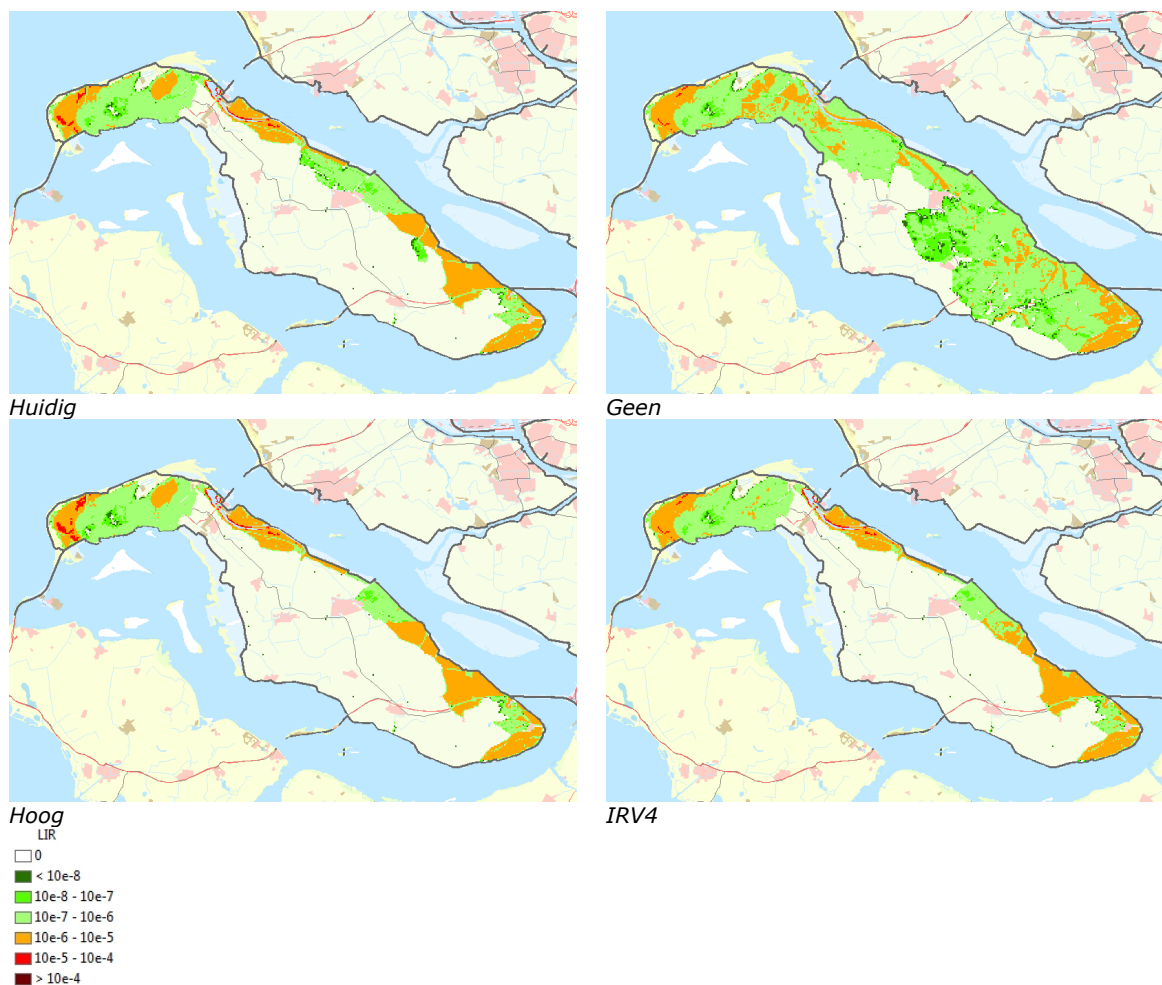
Voor iedere inrichtingsvariant is het LIR berekend voor zowel de faalkans in de referentiesituatie (Figuur 46) als voor de DPV-norm (Figuur 47). De rode plekken op de LIR kaarten geven aan op welke plaats het LIR hoger is dan 10^{-5} per jaar. In eerste instantie zijn er voor elk DPV-traject aparte LIR kaarten gemaakt. Vervolgens zijn de kaarten van de verschillende DPV-trajecten gesommeerd om te komen tot een totale LIR kaart per inrichtingsvariant.

Op basis van de faalkansen van de primaire keringen in de referentiesituatie zijn in elke inrichtingsvariant plekken waar lokaal het LIR hoger is dan 10^{-5} . Een analyse op buurtniveau zou moeten uitwijzen of aan de LIR-eis wordt voldaan. Variant 'hoog' heeft een negatief effect op het LIR in het uiterste westen van dijkkring 25. Het LIR van IRV 'laag' en IRV4 is iets gunstiger dan van de huidige inrichting.



Figuur 46: LIR-kaarten dijkkring 25 (Goeree-Overflakkee) op basis van de faalkansen in de referentiesituatie.

Indien de overstromingskans van de primaire keringen gelijk is aan de DPV-norm, heeft dit weinig effect op het LIR ten opzichte van de faalkansen in de referentiesituatie. Ook hier kan een analyse op buurniveau uitsluitsel geven of aan de LIR-eis wordt voldaan.



Figuur 47: LIR-kaarten dijkkring 25 (Goeree-Overflakkee) op basis van de DPV-norm.

7.4 Samenvatting dijkkring 25 – Goeree-Overflakkee

Geen van de onderzochte inrichtingsvarianten is rendabel ten opzichte van het huidige stelsel van compartimenteringskeringen. Dit geldt bij zowel de faalkansen van de primaire keringen in de referentiesituatie als op basis van de DPV-norm. De beschouwde inrichtingsvarianten leveren geen of nauwelijks afname van het economisch risico, waardoor de kosten van de inrichtingsvarianten niet opwegen tegen de baten.

De compartimenteringskeringen ten oosten en westen van Ouddorp en nabij Stad aan 't Haringvliet en Den Bommel hebben weinig toegevoegde waarde. In inrichtingsvariant IRV4 zijn deze keringen niet aanwezig en dit leidt tot een totale schade die vergelijkbaar is met de schade in de huidige inrichting. Vanuit economisch oogpunt is het handhaven van de huidige ligging en hoogte van deze compartimenteringskeringen daarom niet noodzakelijk. De overige compartimenteringskeringen hebben wel nut. Totale afwezigheid van deze keringen leidt tot een verdubbeling van het economisch risico.

Voor wat betreft het LIR zijn de verschillen tussen de inrichtingsvarianten erg klein. Voor alle inrichtingsvarianten geldt dat er lokaal enkele plaatsen zijn binnen dijkkring 25 waar het LIR hoger is dan 10^{-5} per jaar. Dit is het geval bij zowel de overstromingskansen in de referentiesituatie als bij de DPV-norm.

Bij de kosten-baten analyse is het stelsel van compartimenteringskeringen als geheel beschouwd. Lokale oplossingen binnen het stelsel van compartimenteringskeringen zijn niet onderzocht. Het is mogelijk dat er optimalisaties mogelijk zijn voor de inrichting van een specifiek dijktraject. Het uitgevoerde onderzoek geeft hiervoor geen concrete aanknopingspunten

8 Discussie

8.1 Referentiesituatie

De nut en noodzaak van compartimenteringskeringen is bepaald in vergelijking met het huidige stelsel van compartimenteringskeringen. Hierbij is aangenomen dat er geen investeringskosten gemaakt worden aan het huidige stelsel van compartimenteringskeringen: er wordt alleen beheer en onderhoud gepleegd. Uitgaande van beheer en onderhoudskosten van vijf euro per meter per jaar is de contante waarde 0,12 mln euro per kilometer compartimenteringskering.

Een alternatief is om geen beheer en onderhoud te plegen. De toestand van de keringen zal dan in de loop der tijd achteruitgaan en de faalkans, en daarmee het economisch risico zal toenemen (voor alle dijkringen geldt immers dat de situatie zonder compartimenteringskeringen hogere schade oplevert dan de referentiesituatie). Belangrijke factor hierin is de mate waarin de keringen verslechteren; deze studie geeft daar geen antwoord op.

8.2 Overstromingskansen DPV-norm

De DPV-normen van de primaire keringen die in deze studie zijn gehanteerd als overstromingskans zijn afgeleid uit het normvoorstel van het Deltaprogramma 2015 (DPV, 2014). Dit zijn zogenaamde middenkansen. Er is een bestuurlijke discussie gaande over toepassing van de maximaal toelaatbare kans (=1 normklasse soepeler) in plaats van de middenkans voor ontwerp en toetsing van keringen, waaraan de keringen in 2050 zouden moeten voldoen. Om aan te sluiten bij eerdere studies (o.a. Zethof et al, 2014) en omdat hier nog geen beslissing over is genomen is daar in deze studie geen rekening mee gehouden.

8.3 Gevoeligheid baten van compartimenteringskeringen

De baten van compartimenteringskeringen zijn gebaseerd op gevolgbeoordeling van overstromingsberekeningen van de dijkkring. In de gevolgde aanpak zijn algemeen geaccepteerde aannamen en uitgangspunten gehanteerd. De resultaten van de berekeningen geeft een verantwoord beeld van de gevolgen. Bij de interpretatie van de getallen moet rekening worden gehouden met een onzekerheid. Voor het doel van deze studie, waarin inrichtingsvarianten worden vergeleken, levert de methode bruikbare resultaten.

Overstromingsberekeningen

De (monetaire) gevolgen van overstromingsberekeningen en daarmee indirect de baten van compartimenteringskeringen bevatten een grote mate van onzekerheid. Voor de overstromingsberekeningen zijn aannamen gedaan met betrekking tot het moment waarop bressen in de primaire keringen ontstaan en vervolgens over de groei van een bres in de tijd. Aangenomen is dat de huidige compartimenteringskeringen (en hoge lijnelementen in de dijkkring) standzeker zijn zolang deze niet overstromen. Als ze wel overstromen ontstaat er een interne bres. De overstromingsberekeningen zijn met grote zorgvuldigheid uitgevoerd, maar het blijft een zo goed mogelijke inschatting van de overstroming. Een andere keuze met betrekking tot de bressen geeft een ander overstromingsgevolg, maar het overstromingspatroon blijft ongeveer gelijk.

Overstromingsgevolgen

Ook voor de gevolgen, uitgedrukt in schade, slachtoffers en getroffen en geldt dat deze met algemeen geaccepteerde methoden zijn berekend. Ook hier geldt dat het een zo goed mogelijke inschatting is, maar het resultaat een grote onzekerheidsmarge kent. De gevolgen zijn daarmee een geaccepteerde inschatting, zij het met grote onzekerheden. Echter omdat uitgegaan is van geaccepteerde rekenmethoden en algemeen aanvaarde uitgangspunten hierin kunnen de overstromingsgevolgen gekarakteriseerd worden als een representatieve berekening op dijkkringniveau. In de analyse van resultaten is als *vuistregel* aangehouden dat verschillen tussen inrichtingsvarianten betekenis hebben als er verschillen zijn van orde twee of groter. Daarnaast is de analyse steeds gebaseerd op de resultaten per dijkkring en zijn de dijkringen onderling niet vergeleken.

Baten van compartimenteringskeringen

Voor de baten van compartimenteringskeringen wordt vergeleken met de huidige inrichting: de gehanteerde aannamen gelden voor beide situaties waardoor deze veelal zullen uitmiddelen.

De baten van compartimenteringskeringen worden berekend over een oneindige tijdshorizon. Hierin zijn algemeen geaccepteerde aannamen met betrekking tot bevolkingsgroei en ontwikkeling meegenomen.

8.4 Gevoeligheid kostenberekening

De berekende investeringskosten voor het realiseren van de inrichtingsvarianten kent uiteraard onzekerheden. Op basis van de beschikbare informatie en kennis kunnen de berekende kosten beschouwd worden als een 'best educated calculated guess'. De gehanteerde aannamen in het model zijn in de regel een conservatieve inschatting geweest waardoor eerder een overschatting dan een onderschatting is gemaakt. Uitzonderingen hierop zijn de grondprijzen voor stedelijk gebied en de waakhoogte van de compartimenteringskeringen die hieronder nog geadresseerd worden.

In de kostenberekening is geen rekening gehouden met maatwerk, maar is een generieke (conservatieve) benadering gehanteerd voor het op hoogte (en sterkte) brengen van de compartimenteringskeringen. Optimalisatie van de versterkingskosten kunnen besparingen opleveren.

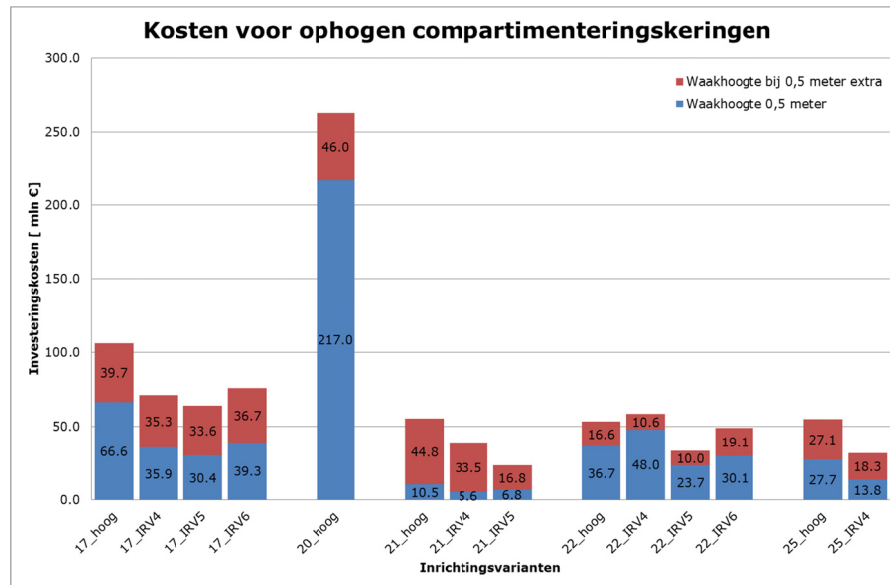
Uitgangspunt is geweest dat de huidige compartimenteringskeringen standzeker zijn. De versterking van de compartimenteringskering is zodanig dat het eindresultaat standzeker is op basis van de huidige grondmechanische inzichten. Voor trajecten waar geen versterking nodig is omdat deze trajecten niet worden belast (of maximum waterhoogte een halve meter onder de kruin blijft) zijn geen versterkingsmaatregelen gedefinieerd.

Voor het verwijderen van compartimenteringskeringen is uitgegaan van iedere 200 meter een doorlaatwerk met een lengte van 30 m bestaande uit betonnen kokers te realiseren. Hiermee wordt de kerende functie voldoende weggenomen om badkuip-effecten te voorkomen. De keuze voor doorlaatmiddelen is gemaakt omdat compartimenteringskeringen een landschappelijke en cultuurtechnische functie kunnen hebben. Ook is het mogelijk dat woningen tegen of aan de compartimenteringskering zijn gebouwd. Hierdoor is simpel afgraven vaak geen optie. Zeker voor de inrichtingsvariant 'geen' brengt dit relatief hoge kosten met zich mee die met maatwerk kunnen worden voorkomen.

Waakhoogte

Bij de berekening van de investeringskosten voor de compartimenteringskeringen is uitgegaan van een halve meter waakhoogte. De hoogte van de compartimenteringskering is bepaald door een halve meter op te tellen bij de berekende maximale waterstand aan de compartimenteringskering. Zettingscompensatie is verwerkt met een aanvullende toeslag.

In Figuur 48 is voor een aantal inrichtingsvarianten een vergelijking gemaakt van de investeringskosten voor ophogen van de compartimenteringskeringen uitgaande van een waakhoogte van een halve meter en een waakhoogte van een meter.



Figuur 48: Effect grondprijs op de investeringskosten.

De extra waakhoogte betekent niet alleen dat de keringen verder verhoogd moeten worden maar tevens dat het aantal kilometers compartimenteringskering dat op hoogte is afneemt en dus moet er meer kilometers compartimenteringskering worden opgehoogd. Voor dijkringen 17, 22 en 25 betekent een extra halve meter waakhoogte dat de kosten grofweg 50 tot 100% toenemen. Voor dijkkring 20 (Voorne-Putten) betekent een extra halve meter waakhoogte ongeveer 20% extra investering. Voor dijkkring 21 (Hoekse Waard) betekent de extra halve meter waakhoogte een verveelvoudiging van de investeringskosten doordat veel meer kilometer compartimenteringskering moet worden opgehoogd.

Talud

Uitgebreide en dekkende informatie over de taludhellingen van de compartimenteringskeringen is niet beschikbaar bij het waterschap. In de kostenberekening is uitgegaan van een 1:3 talud en ook voor de versterkte compartimenteringskering wordt een talud van 1:3 aangehouden. Deze inschattingen zijn gemaakt op basis van gebiedskennis (bij het waterschap) en praktijkkennis (bij Tauw).

Als wordt aangenomen dat de huidige helling 1:2 is dan zal, afhankelijk van de oorspronkelijke kruinhoogte meer kosten gemaakt moeten worden om het buitentalud te verflauwen. Dit effect neemt af naarmate de versterkingsopgave groter is. De extra investeringskosten kunnen tot 150% oplopen⁷.

Als de versterkte compartimenteringskering een taludhelling van 1:4 moet krijgen neemt de nieuwe compartimenteringskering meer ruimte in en is meer materiaal benodigd. De kosten nemen hierdoor tot een derde toe.

Grondprijs

Het kostenmodel hanteert een grondprijs van 100 €/m² in bebouwd gebied en 15 €/m² in landelijk gebied. Met een gevoeligheidsanalyse op de eenheidsprijs van grondaankoop in bebouwd gebied is het effect van een hogere grondprijs in beeld gebracht. Naarmate de verhogingsopgave groter is nemen de investeringskosten meer toe. De toename neemt relatief wat af bij een hogere oorspronkelijke dijkhoogte. Het aandeel grondverwerving is dan weer kleiner.

Een verdubbeling van de grondprijzen zorgt voor een toename van 15 tot 22% in landelijk gebied en tot een verhoging van 25 tot 50% bij eenzijdig krappe bebouwing. Bij tweezijdige bebouwing wordt ruimtebeslag beperkt. Een verdubbeling leidt tot maximaal 10% toename van de investeringskosten.

Beheer en onderhoud

Voor beheer en onderhoudskosten is uitgegaan van vijf euro per meter per jaar. Dit bedrag is gebaseerd op ervaringscijfers van het waterschap en het Hoogheemraadschap van Delfland.

Als uitgegaan wordt van tien euro per meter per jaar zal dit leiden tot verdubbeling van de kosten voor beheer en onderhoudskosten. Voor de meeste inrichtingsvarianten is de contante waarden van de beheerkosten minder dan 10% van de investeringskosten. Dit is echter sterk afhankelijk van de versterkingsopgave voor de inrichtingsvariant en kan niet als regel worden gehanteerd. Er zijn situaties waarin beide posten vergelijkbaar zijn.

⁷ Voor een aantal trajecten is de huidige helling van de compartimenteringskeringen 1:2 en zijn de kosten voor die trajecten mogelijk onderschat. Op basis van de resultaten kan achteraf worden vastgesteld dat een mogelijke kostenonderschatting niet leidt tot andere conclusies.

9 Samenvatting en conclusies

Voor dit onderzoek zijn voor dijkringen 17 (IJsselmonde), 20 (Voorne-Putten), 21 (Hoekse Waard), 22 (Eiland van Dordrecht) en 25 (Goeree-Overflakkee) overstromingsmodellen gemaakt op basis van de huidige inzichten en gegevens. Voor de modellen zijn een groot aantal bressen in de primaire keringen gemodelleerd en zijn er interne bressen gemodelleerd op de lage plekken in de compartimenteringskeringen. Op basis van de modellen zijn overstromingsberekeningen uitgevoerd voor de huidige inrichting. De resultaten zijn gevalideerd door de provincie en het waterschap. In een vervolgstap zijn per dijkkring inrichtingsvarianten gedefinieerd, waarbij in eerste instantie een situatie is doorgerekend zonder compartimenteringskeringen en een situatie waarin alle compartimenteringskeringen volledig kerend worden verondersteld. Vervolgens zijn varianten hierop gedefinieerd, passend bij de dijkringen. Additioneel is voor dijkkring 20 onderzocht wat het effect is van het verplaatsen van de trajectgrens tussen de normtrajecten 20-2 en 20-3 (van de primaire kering) naar de locatie van de Hartelkering.

Voor elke inrichtingsvariant is een economische kosten-baten afweging gemaakt. De toegepaste kostenmethodiek geeft een goede inschatting van de investeringskosten voor het op hoogte brengen van de compartimenteringskeringen. De resultaten komen overeen met de verwachtingen aan investeringskosten, waarbij wordt aangetekend dat de onzekerheidsmarge in de kosten ruim is. Gezien de onzekerheden over de actuele situatie van de desbetreffende compartimenteringskeringen is dit verklaarbaar en gezien het doel van deze studie ook verdedigbaar.

De totale kosten van een inrichtingsvariant is de optelsom van de contante waarde van het economisch risico en de realisatie- en instandhoudingskosten van de inrichtingsvariant. Het economische risico is berekend uit het product van de overstromingskans en de overstromingsgevolgen (schade- en slachtoffers). De monetaire waarde van slachtoffers is gesteld op 6,7 mln euro, voor getroffen en is deze gesteld op 12,5 duizend euro (als compensatie). Slachtoffers en getroffen maken ongeveer 35% uit van de totale schade, maar dit varieert per dijkkring. Voor Voorne-Putten, met veel stedelijk gebied is het aandeel van slachtoffers en getroffen aan de schade hoger (ongeveer 38%), voor Goeree-Overflakkee is dit lager (orde 27%).

Voor alle inrichtingsvarianten (inclusief de referentiesituatie) zijn kaarten gemaakt van het lokaal individueel risico (LIR) per hectare, gebruik makend van de faalkansen in de referentiesituatie en volgens de DPV-norm.

In het onderzoek zijn de inrichtingsvarianten beoordeeld, gegeven de normspecificatie van de primaire waterkeringen. Hierin zijn de faalkansen van de primaire keringen in de referentiesituatie en bij toepassing van de DPV-normen beschouwd. De consequenties van een inrichtingsvariant op de normspecificatie van de primaire waterkeringen is buiten beschouwing gelaten omdat dit buiten de scope van dit onderzoek valt.

Met deze studie wordt de basis gelegd voor het aanwijzen en normeren van compartimenteringskeringen van de dijkringen in het beheergebied van waterschap Hollandse Delta. Dit rapport geeft de feiten, methodiek en hulpmiddelen om het bestuurlijke traject voor te bereiden. Ontwikkelingen rondom de normering van waterkeringen kunnen meegenomen worden in het vervolg.

De resultaten van de kostenbatenanalyse zijn weergegeven in Tabel 23 (DPV-normen) en Tabel 24 (faalkans referentiesituatie). Hier is de kosteneffectiviteit berekend van de verschillende inrichtingsvarianten ten opzichte van de huidige inrichting. Rode cijfers geven aan dat een inrichtingsvariant vanuit economisch oogpunt niet rendabel is.

Dijkring	IRV	Hoog	Geen	IRV4	IRV5	IRV6	IRV7	IRV8
17 – IJsselmonde		-67.8	-141.2	-43.2	-34.6	-42.6	-64.8	-56.9
20 – Voorne-Putten		-211.0	-65.60	-94.5				
20 – Voorne-Putten – TRA ⁷		-205.4	-60.9	-90.4				
21 – Hoekse Waard		-10.1	-174.3	-43.3	-80.5	-23.7		
22 – Eiland van Dordrecht		-18.1	-95.3	-65.1	-14.6	-13.9	-44.3	-6.9
25 – Goeree-Overflakkee		-26.2	-28.6	-15.6				

Tabel 23: Contante waarde van de totale kosten ten opzichte van de huidige inrichting over een oneindige tijdshorizon voor alle dijkringen en inrichtingsvarianten (op basis van DPV-normen van de primaire keringen).

Dijkring	IRV	Hoog	Geen	IRV4	IRV5	IRV6	IRV7	IRV8
17 – IJsselmonde		-57.6	-214.5	-43.0	-26.2	-25.6	-59.4	-50.1
20 – Voorne-Putten		-1.9	-342.1	55.2				
20 – Voorne-Putten – TRA ⁸		-194.5	-290.4	-82.8				
21 – Hoekse Waard		-9.3	-389.0	-143.9	-200.2	-14.6		
22 – Eiland van Dordrecht		531.8	-746.9	140.8	467.4	526.5	-7.0	534.8
25 – Goeree-Overflakkee		-27.7	-30.1	-17.1				

Tabel 24: Contante waarde van de totale kosten ten opzichte van de huidige inrichting over een oneindige tijdshorizon voor alle dijkringen en inrichtingsvarianten (op basis van faalkansen van de primaire keringen in de referentiesituatie).

Uitgaande van de DPV-normen voor de primaire keringen, is geen van de inrichtingsvarianten economisch rendabel ten opzichte van de huidige inrichting (zie Tabel 23). Op basis van de faalkansen van primaire keringen in de referentiesituatie zijn de meeste inrichtingsvarianten niet rendabel. Een uitzondering vormen inrichtingsvarianten in dijkkring 20 (Voorne Putten) en dijkkring 22 (Eiland van Dordrecht) (zie Tabel 24).

Uitgaande van de DPV-normen is voor alle dijkringen het LIR kleiner dan 10^{-5} per jaar. Slechts zeer lokaal zijn er plaatsen waar het LIR hoger is dan 10^{-5} per jaar. Op basis van de faalkansen in de referentiesituatie is het LIR voor alle dijkringen hoger dan bij toepassing van de DPV-normen. Voor dijkkring 20 en dijkkring 22 zijn er binnen alle inrichtingsvarianten grote gebieden waar het LIR hoger is dan 10^{-5} per jaar. Investering in de primaire kering is daarom noodzakelijk.

De enige inrichtingsvariant die rendabel is voor dijkkring 20 (op basis van de faalkansen in de referentiesituatie) is IRV4. In IRV4 worden de keringen langs het Brielse Meer en het Voedingskanaal versterkt, zodat er geen interne bres optreedt bij overstroming. Deze inrichtingsvariant heeft ook een positief effect op het LIR (al blijft versterken van de primaire kering noodzakelijk om uiteindelijk aan de LIR-eis van 10^{-5} per jaar te voldoen).

⁸ 'Voorne-Putten – TRA' betreft de situatie waarin de trajectgrens tussen 20-2 en 20-3 is verplaatst naar de Hartelkering.

Voor dijkkring 20 is ook onderzocht wat het effect is van het verplaatsen van de trajectgrens van normtrajecten 20-2 en 20-3 (van de primaire kering) naar de locatie van de Hartelkering. In de huidige inrichting wordt het economisch risico daardoor verlaagd met ongeveer 30 % op basis van de faalkans in de referentiesituatie. De inrichtingsvarianten zijn echter niet rendabel ten opzichte van het huidige stelsel van compartimenteringskeringen. Bij gebruik van de DPV-normen blijkt het verleggen van de trajectgrens nauwelijks effect te hebben op het economisch risico doordat de overstromingskans van traject 20-3 met een factor 100 afneemt (van 1/300 in de referentiesituatie naar een norm van 1/30.000).

Voor dijkkring 22 zijn de inrichtingsvarianten 'Hoog', 'IRV4', 'IRV5', 'IRV6' en 'IRV8', op basis van de faalkans in de referentiesituatie, vanuit economisch oogpunt rendabel ten opzichte van de huidige inrichting. Bovendien leidt dit tot een verbetering van de veiligheid in Dordrecht, al zijn er in alle gevallen gebieden waar het LIR hoger dan 10^{-5} per jaar.

Uit deze studie blijkt dat de huidige stelsels van compartimenteringskeringen nut hebben. Zonder de compartimenteringskeringen neemt het economisch risico significant toe ten opzichte van de huidige situatie. Vanuit economisch oogpunt is het handhaven van de huidige ligging en hoogte van de compartimenteringskeringen nodig. Er zijn echter trajecten waar de compartimenteringskeringen uit economisch oogpunt geen meerwaarde lijken te bieden. Binnen dijkkring 21 hebben de compartimenteringskeringen die worden verlaagd in IRV6 vanuit economisch oogpunt geen toegevoegde waarde. Het economisch risico neemt namelijk af bij afwezigheid van deze keringen. Voor dijkkring 25 kan worden geconcludeerd dat de keringen ten oosten en westen van Ouddorp en enkele trajecten nabij Stad aan 't Haringvliet en Den Bommel vanuit economisch oogpunt ook geen toegevoegde waarde hebben. Men zou ervoor kunnen kiezen om deze trajecten niet op te nemen in de verordening.

Bij de kosten-baten analyse is het stelsel van compartimenteringskeringen als geheel beschouwd. Lokale oplossingen binnen het stelsel van compartimenteringskeringen zijn niet onderzocht. Het is mogelijk dat er optimalisaties mogelijk zijn voor de inrichting van een specifiek dijktraject. Op basis van de onderzochte inrichtingsvarianten zijn kansrijke specifieke situaties te bepalen. Het uitgevoerde onderzoek geeft aanleiding voor concrete vervolgstudies voor dijkkring 17. Potentiele optimalisaties voor dijkkring 17 zijn het verleggen van de kering bij IJsselmonde, het verlagen van de kering ten oosten van Hoogvliet, het volledig kerend maken van de kering langs het Waaltje en volledig kerend maken van de kering ten zuiden van Rhoon. Daarnaast loopt reeds het MIRT-onderzoek Eiland van Dordrecht, waarin de optimale combinatie van primaire en regionale keringen wordt onderzocht om een optimaal veiligheidsniveau te verkrijgen.

10 Referenties

- Dam, R.M. van, en E.H. van Drunen, 2014: Kostenmodel compartimenteringskeringen - Een methodiek voor het bepalen van investeringskosten van dijkversterkingen aansluitend op de systematiek van het Deltaprogramma.
Tauw, concept, 15 april 2014.
- Deltares, 2013: Kostenramingen Compartimenteringskeringen Zuid-Holland op basis van KOSWAT v2.1.
Spreadsheet "Kostenmodule Compartimenteringskeringen_v1 0.xls", 2013.
- DHV en Nelen en Schuurmans, 2012: Normeren van voorland en compartimenteringskeringen in Zuid-Holland – compartimenteringskeringen.
Provincie Zuid-Holland, dossier BA4329/M0019, versie 3., eindrapport, definitief, juli 2012.
- DPV, 2014: Op weg naar nieuwe normen – technisch inhoudelijke uitwerking DPV 2.0
Werkdocument Deelprogramma Veiligheid, Hoofdrapport, concept, 6 januari 2014.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2015: Ontwerp wijziging Waterwet versie 22 april 2015.
https://www.internetconsultatie.nl/ontwerpwijziging_waterwet/document/1621
- Janssen, M, en C.J. Vermeulen, 2014: Maasdijk - Compartimenterende werking van de Maasdijk en polderkade.
Provincie Zuid-Holland, PR2817.10, maart 2014.
- Kind, J. et al, 2011: Maatschappelijke kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21e eeuw.
Deltares, rapport 1204144-006-ZWS-0012, definitief, 31 maart 2011.
- DPV, 2014: Deltaprogramma 2015 – Werk aan de Delta, 16 september 2014 (Prinsjesdag).
- Vermeulen et al, 2014: Compartimenteringskeringen dijkringen 17, 20, 21, 22 en 25. Tauw en HKV, PR2511.10, november 2014.
- Vermeulen et al, 2015: Compartimenteringskeringen waterschap Hollandse Delta – aanvullende rapportage. Tauw en HKV, PR2511.20, februari 2015.
- VNK2, 2010: Veiligheid Nederland in Kaart 2 - Overstromingsrisico dijkkring 17 IJsselmonde.
Rijkswaterstaat Waterdienst, W.L.A. ter Horst, document HB 1199434, definitief, december 2010.
- Zethof et al, 2015: Compartimenteringsstudie Maasdijk en zuidrand dijkkring 14. HKV, PR2870.30, januari 2015.
- Zuid-Holland, 2009: Provinciaal Waterplan Zuid-Holland 2010 – 2015
Provincie Zuid-Holland, archiveringsnummer 092410, 11 november 2009.

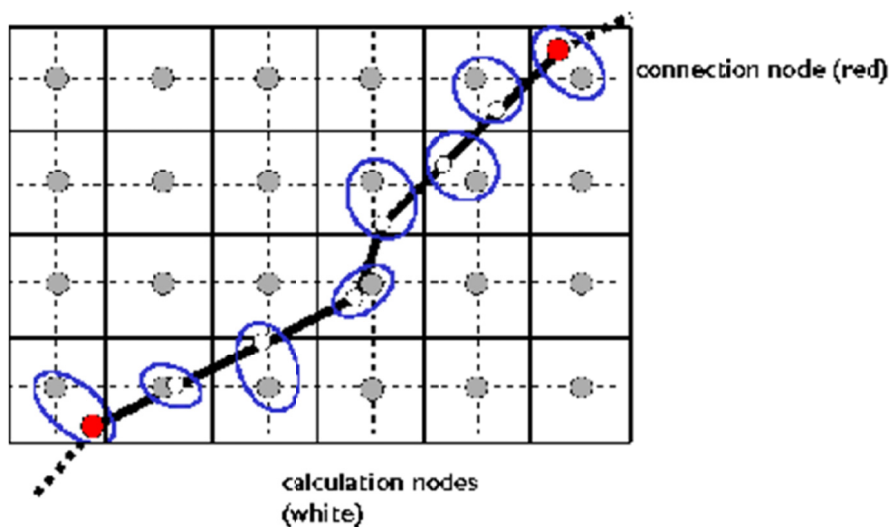
Bijlagen

Bijlage A: Afkortingen

AHN	Actueel Hoogtebestand Nederland
BRZO	Besluit Risico's Zware Ongevallen
DPV	DeltaProgramma Veiligheid
EB	Externe Bres
HR2006	Hydraulische Randvoorwaarden 2006
IB	Interne Bres
IRV	Inrichtingsvariant
KOSWAT	Kostenraming Waterkeringen
LGN	Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland
LIR	Lokaal Individueel Risico
MKBA	Maatschappelijke Kosten-BatenAnalyse
NDB	Noordelijk Deltabekken
VNK	Veiligheid Nederland in Kaart
WV21	(studie) WaterVeiligheid in de 21 ^e eeuw

Bijlage B: Bouw overstromingsmodel

Voor een overstromingssimulatie wordt ruimtelijke informatie zoals terreinhoogte, landgebruik, watergangen en doorgangen, vertaald naar een modelschematisatie. Samen met de hydraulische randvoorwaarden (bijvoorbeeld het waterstandsverloop op zee) vormt dit de invoer. Na het simuleren van een bres in de primaire kering, volgt uit de berekeningen het waterdiepteverloop en de stroomsnelheden in de tijd. Tevens is de uitvoer gebruikt voor schade en slachtofferberekeningen met de HIS-Schade en Slachtoffermodule (HIS-SSM). De ruimtelijke informatie die wordt gebruikt als invoer is gesplitst in een tweedimensionaal en een ééndimensionaal deel. In het model vindt er een uitwisseling van gegevens plaats tussen het één- en tweedimensionale deel. Het tweedimensionale model bestaat uit een gebiedsdekkend hoogtemodel en een ruwheidsmodel gerelateerd aan landgebruik (paragraaf B.1). Dit is een regelmatig grid met een resolutie van 50 meter waar per gridcel de ruimtelijke informatie is vastgelegd. Voor waterlopen wordt gebruik gemaakt van een eendimensionaal model (paragraaf B.3). Hierin worden waterlopen en doorgangen in keringen gemodelleerd als lijnobjecten waarvan de hydraulische eigenschappen zijn gedefinieerd. Elk lijnobject bevat rekenpunten, deze zijn in Figuur 49 weergegeven als calculation nodes (wit) en connection nodes (rood). Op deze locaties staat het ééndimensionale deel in verbinding met het onderliggende tweedimensionale grid (vierkanten met grijze cirkels in Figuur 49). Hier kan bijvoorbeeld water uit een rivier een gridcel overstromen.



Figuur 49: Één- en tweedimensionale laag in SOBEK (bron figuur: SOBEK helpfile).

De volgende stap is het modelleren van een bres in de primaire kering, waardoor water de dijkkring in kan stromen (paragraaf B.4). Via de bressen staat het model van de dijkkring in contact met een aangrenzende rivier, waarvan o.a. de afvoer en waterstand van invloed zijn op het overstromingspatroon. Deze worden als randvoorwaarden opgenomen in de schematisatie (paragraaf B.4).

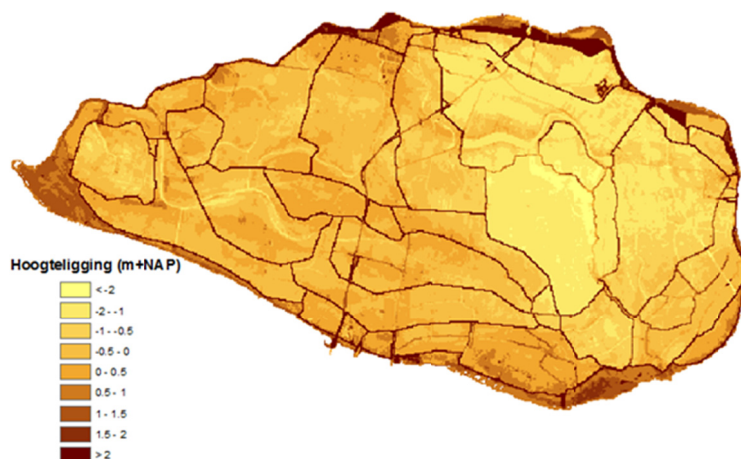
B.1 Tweedimensionale modellering

B.1.1 Terreinhoogte

Het tweedimensionale gedeelte van het overstromingsmodel bevat de terreinhoogtes. Dit model beschrijft de hoogteligging in een gridformaat van 50 m bij 50 m. Iedere gridcel representeert de hoogte voor een gebied van een kwart hectare. De toegekende waarde is in het algemeen de gemiddelde hoogte van het onderliggende gebied. Dit is de gemiddelde hoogte zoals weergegeven in het AHN2. Hierop is een correctie uitgevoerd voor de hoogte van bebouwde gebieden, zodat alleen de hoogte van het maaiveld is meegenomen. De kenmerken van het gebruikte AHN2 staan omschreven in de productspecificaties (www.ahn.nl). Binnen de dijkkring komen waterkerende elementen voor die het overstromingspatroon beïnvloeden. Hierbij is een onderverdeling te maken in:

- Waterkeringen (primaire keringen, secundaire keringen, boezemkades, etc.) en;
- Overige hoge lijnelementen (oude waterkeringen die niet meer beheerd worden, hooggelegen snelwegen, spoorwegen, etc.).

Al deze lijnelementen moeten in het overstromingsmodel worden opgenomen. Voor de bepaling van de hoogteligging zijn de kruinlijnen ingetekend waarna de ligging is gecontroleerd, en waar nodig gecorrigeerd, ten opzichte van het AHN2. Waar wegen over deze lijnelementen lopen is de locatie afgeleid uit het nationaal wegenbestand. Aan iedere gridcel van 50 bij 50 meter die overlap heeft met een kruinlijn is de gemiddelde hoogte van de kruinlijn volgens het AHN2 toegekend. Hiervoor worden gridcellen gelegen onder de kruinlijn geselecteerd uit het AHN2 en geaggregeerd naar cellen van 50 bij 50 meter. Bij een kruising van twee lijnelementen van verschillende hoogten, wordt de kruinhoogte van het hoogstgelegen element overgenomen. Voor de hoogte van spoorwegen is een correctie toegepast van 50cm, omdat wordt aangenomen dat het ballastbed waterdoorlatend is. In Figuur 50 is de hoogteligging van de Hoekse Waard weergegeven.



Figuur 50: Terreinhoogte binnen het dijkkringgebied Hoekse Waard.

B.1.2 Grondgebruik

Naast de terreinhoogte bevat het tweedimensionale model ook de hydraulische ruwheid. De ruwheid representeert de weerstand die het water ondervindt als het stroomt. Een bos is bijvoorbeeld hydraulisch ruwer dan productiegrasland. De ruwheid is opgegeven als een Nikuradse ruwheid in een grid met dezelfde resolutie als de bodemhoogte. De hydraulische ruwheid van het overstromingsgebied is afgeleid van het landgebruik. Het bronbestand is het Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland versie 6 (LGN6) met een resolutie van 25x25 m.

Het LGN6 is gebaseerd op gegevens uit de periode 2007/2008. Het landgebruik is eerst omgezet naar een White Colebrook ruwheid, vervolgens wordt deze vergrid naar een 50 x 50 m grid. Voor de conversie van LGN6 naar White Colebrook ruwheid is Tabel 25 gebruikt.

<i>LGN6 code</i>	<i>Ruwheidswaarde (White Colebrook, kn)</i>	<i>LGN6 Beschrijving</i>
1	0,2	Agrarisch gras
2	0,4	Mais
3	0,4	Aardappelen
4	0,4	Bieten
5	0,4	Granen
6	0,4	Overige gewassen
8	10	Glastuinbouw
9	10	Boomgaarden
10	0,4	Bloembollen
11	10	Loofbos
12	10	Naaldbos
16	0,1	Zoet water
17	0,1	Zout water
18	10	Bebouwing in primair bebouwd gebied
19	10	Bebouwing in secundair bebouwd gebied
20	10	Bos in primair bebouwd gebied
22	10	Bos in secundair bebouwd gebied
23	0,4	Gras in primair bebouwd gebied
24	0,4	Kale grond in bebouwd gebied
25	1	Hoofdwegen en spoorwegen
26	10	Bebouwing in het buitengebied
28	0,4	Gras in secundair bebouwd gebied
30	2	Kwelders
31	2	Open zand in kustgebied
32	0,4	Open duinvegetatie
33	10	Gesloten duinvegetatie
34	0,8	Duinheide
35	2	Open stuifzand
36	0,8	Heide
37	1,5	Matig vergraste heide
38	2	Sterk vergraste heide
39	3	Hoogveen
40	10	Bos in hoogveengebied
41	3	Overige moerasvegetatie
42	5	Rietvegetatie
43	10	Bos in moerasgebied
45	2	Natuurgraslanden
61	0,4	Boomkwekerijen

Tabel 25: Conversietabel van LGN 6 naar White Colebrook ruwheid.

B.2 Eendimensionale modellering

B.2.1 Watergangen

Waterlopen die van invloed zijn op het overstromingspatroon worden in het model opgenomen als ééndimensionale watergangen. De overstromingsmodellen ontwikkeld door HKV in 2007 zijn hiervoor als basis genomen. Hierin is de ligging van waterlopen breder dan 4 meter ingetekend. Daarnaast zijn in samenspraak met de beheerders extra waterlopen toegevoegd. De eigenschappen van deze waterlopen zijn gebaseerd op de legger van het waterschap.

B.2.2 Kunstwerken in waterkerende elementen

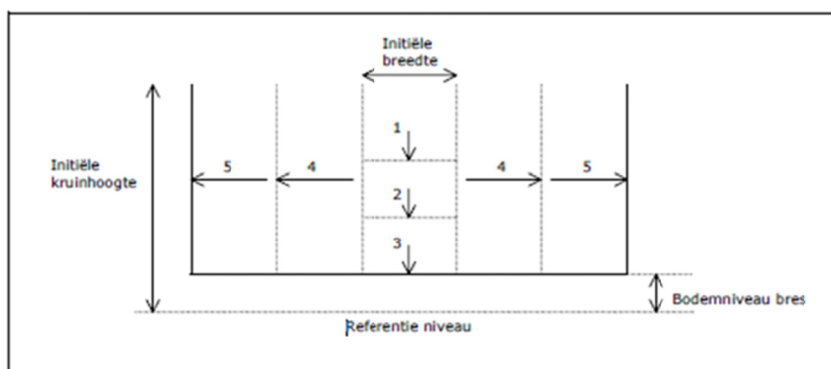
In het model van de terreinhoogte zijn waterkerende elementen, zoals dijken en wegen, opgenomen. Indien een waterkerend element onderbroken wordt, door bijvoorbeeld een duiker of tunnel, is dit in de schematisatie opgenomen. De waterkerende elementen zijn onderverdeeld in waterkeringen en overige hoge lijnelementen. Aangenomen is dat alle doorgangen in de waterkeringen tijdens hoogwater worden afgesloten, dus alleen doorgangen in de overige hoge lijnelementen zijn gemodelleerd. Kunstwerken zijn in het model opgenomen met de afmetingen uit de legger. Doorgangen ten behoeve van het verkeer (auto- en fietstunnels) zijn opgenomen als een korte watergang met een kokerprofiel ter grootte van de tunnel.

B.3 Bressen en randvoorwaarden

B.3.1 Bres in de primaire kering

Met het vastleggen van gegevens in het één- en tweedimensionale deel is het gebied binnen de primaire kering gemodelleerd. De volgende stap is het modelleren van een bres in de primaire kering, waardoor water de dijkkring in kan stromen vanuit de omliggende rivieren. Gezamenlijk met de opdrachtgevers en beheerders zijn punten aangegeven als potentiële locaties voor het ontstaan van een bres. Op deze locaties zijn overstromingsberekeningen uitgevoerd. Er is gebruik gemaakt van een automatische bresgroei met behulp van de formule van Verheij-vdKnaap (2002) (SOBEK helpfile). Dit is een functie gefit op gegevens van diverse opgetreden overstromingen en laboratorium proeven. Het verloop van de bresgroei is als volgt:

- Groei in diepte (Stappen 1-2-3 in Figuur 51);
- Groei in breedte (Stappen 4-5 in Figuur 51).



Figuur 51: Schematisch overzicht van de verschillende stappen van automatische bresgroei (aangepast uit de SOBEK helpfile).

In het model zijn de volgende variabelen opgegeven:

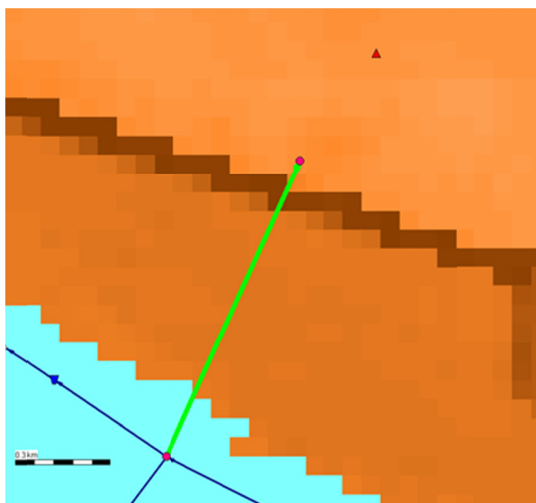
- Initiële breedte van de bres (in m): 10 m.
- Initiële kruinhoogte (in m t.o.v. NAP): De kruin van de waterkering.
- Bodemniveau van de bres (in m t.o.v. NAP). Dit is gelijk aan het maaiveldniveau van het voor- of achterland. Het niveau van het hoogstgelegen land is hier gekozen. Als gevolg hiervan wordt bij een hooggelegen voorland de bres minder diep.
- Tijdsduur voor het bereiken van het bodemniveau (min), ingesteld op 10 minuten.

- Kritieke stroomsnelheid (U_c in m/s). Deze is afhankelijk van de karakteristieke bodemsterkte in de kern van de dijk. Bij een zandkern is aangenomen $U_c = 0.2$ m/s, bij een kleikern $U_c = 0.5$ m/s (voor een overzicht van enkele waarden zie Tabel 26).

U_c (m/s)	bodemtype
1.0	klei, zeer goed (compact; $t = 80-100$ kPa)
0.8	klei, met 60% zand (stevig; $t = 40-80$ kPa)
0.7	goede klei met weinig structuur
0.6	goede klei, sterk
0.4	slechte klei (slap; $t = 20-40$ kPa)
0.225	zand met 17% silt
0.20	zand met 10% silt
0.16	zand met 0% silt

Tabel 26: Karakteristieke U_c -waarden (SOBEK help file).

In SOBEK zijn bressen gemodelleerd zoals weergegeven in Figuur 52. In oranje tinten is het hoogtegrid weergegeven, waarbij de bruine cellen de hooggelegen primaire kering representeren en hiermee de rand van de dijkring. De watergangen buiten de dijkring zijn gemodelleerd als 'channelflow reach' (blauwe lijn). De groene streep is de bres in de primaire kering welke is gemodelleerd als een 'dambreak reach'. Deze vormt via 'connection nodes' aan beide zijden een verbinding tussen de buitenwaterstand en het grid van het hoogtemodel.



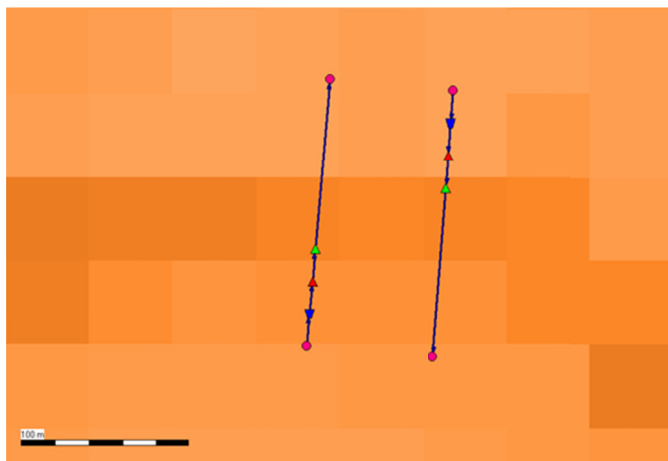
Figuur 52: Buitendijk in SOBEK.

B.3.2 Bres binnen de dijkring

Door de aanwezigheid van waterkeringen in het dijkringgebied is het gebied opgedeeld in polders. Tijdens een overstroming kan de waterstand in een polder zo hoog worden dat de omliggende dijk overstroomt. Wanneer de stroomsnelheid boven de kruin hoog genoeg wordt kan hier een bres ontstaan. In de overstromingsmodellen is aangenomen dat de bres ontstaat als de waterstand boven de kruin groter is dan 0.15 m.

Nadat een bres in de primaire kering is gemodelleerd, worden de interne bressen gemodelleerd. Het systeem van hoge lijnen en waterkeringen is onderverdeeld in dijktrajecten. De posities van de interne bressen zijn geselecteerd op de laagste punten van de dijktrajecten.

Deze binnenbressen zijn gemodelleerd als een 'channel flow reach' (Figuur 53). In de channel flow reach is een constructie opgenomen ('weir', groene driehoek) die normaal gesproken dicht staat. Als de waterstand op een meetpunt een waarde overschrijdt ('measurement station', rode driehoek), dan gaat deze constructie open en stroomt het water via de channel flow reach naar de andere polder. De breedte van de bres is in alle gevallen 49 m. De bressen zijn geschematiseerd als bresporen, zodat de bres vanuit beide kanten kan ontstaan.



Figuur 53: Binnenbres in SOBEK.

B.3.3 Randvoorwaarden via NDB-model

Door het ontstaan van bressen staat het model van de dijkkring in contact met het benedenrivierengebied waaraan water wordt onttrokken. Dit gebied is geschematiseerd in het model van het Noordelijk DeltaBekken (NDB) en is als ééndimensionaal deel in de schematisatie opgenomen.

De maatgevende waterstand kan verschuiven van een riviergedomineerde waterstand naar een zee-gedomineerde waterstand afhankelijk van de locatie in het model. Bij een rivier treedt de hoogste waterstand op gedurende de piek van een afvoergolf. De totale hoogwatergolf kan meerdere weken duren. Daarentegen zal de grootste waterstand op zee voorkomen als een combinatie van getij en windopzet. Deze windopzet duurt enkele dagen. Hierdoor duurt een hoogwatergolf op zee korter dan een afvoergolf op een rivier. Het verloop van het hoogwater wordt ook beïnvloed door het sluiten van de Maeslantkering en de Hartelkering. Het bresdebiet is van invloed op het waterstandsverloop of de afvoer op plaatsen rond de bres. Daarom liggen de hydraulische randvoorwaarden aan de randen van het NDB-model, waar verwacht wordt dat het bresdebiet geen invloed meer heeft. Met behulp van het programma Hydra-B zijn de maatgevende belastingcombinaties bepaald (Afvoer Lobith en windopzet op zee) voor toetspeil en toetspeil plus één maal de decimeringshoogte, voor elke locatie in het benedenrivierengebied. Deze belastingcombinaties zijn omgerekend naar de modelranden. Deze modelranden betreffen de afvoerranden bij Tiel (Waal), Lith (Maas), Hagesteijn (Lek) en waterstandsranden bij Haringvliet, Haringvliet (20) en Maasmond.



HKV IJN in water BV

Postbus 2120
8203 AC Lelystad

Botter 11-29
8232 JN Lelystad

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