

**Kansrijkdomkaarten
meerlaagsveiligheid**



Kansrijkdomkaarten meerlaagsveiligheid

Nathalie Asselman
Kymo Slager

1206176-012

Titel
Kansrijkdomkaarten meerlaagsveiligheid

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Deltaprogramma Veiligheid	1206176-012	1206176-012-VEB-0002	61

Trefwoorden
Meerlaagsveiligheid, overstromingsrisico's

Samenvatting

Verschillende deelprogramma's van het Deltaprogramma voeren een verkenning uit naar kansrijke maatregelen gericht op het reduceren van overstromingsrisico's. Hierbij wordt gekeken naar maatregelen die gericht zijn op het verkleinen van de kans op een overstroming (bijv. dijkversterking) of op het beperken van de gevolgen van een overstroming (bijv. aangepast bouwen of het verbeteren van preventieve evacuatie).

Voor een groot aantal mogelijke maatregelen zijn in deze studie zogenaamde 'kansrijkdomkaarten' gemaakt. De kaarten geven inzicht in de 'kans rijkdom' van specifieke maatregelen in termen van doeltreffendheid en verwachte economische effectiviteit. Naast een beschrijving van de kaarten, is ook een overzicht gegeven van de belangrijkste bevindingen per regio.

Referenties

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
05	Dec 2013	Nathalie Asselman	NA	Frans Klijn	VB	Cees v.d. Guchte	CG
		Kymo Slager					

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	3
1.1 Achtergrond	3
1.2 Doel en afbakening	3
1.3 Het product	4
1.4 Gebruik van de kaarten	4
1.5 Kanttekeningen bij gebruik van de kaarten	6
2 Geselecteerde maatregelen en beschikbare gegevens	7
2.1 Selectie van maatregelen	7
2.2 Beschikbare gegevens: overstromingskenmerken	8
2.2.1 Waterdiepte	8
2.2.2 Overstromingsduur	10
2.2.3 Overstromingsfrequentie	10
2.3 Beschikbare en gebruikte schade- en slachtofferfuncties	11
3 Laag 1: hoogwaterbescherming en beheersing overstromingsverloop	13
3.1 Deltadijk	13
3.2 Compartimentering	16
3.3 Uitlaatwerk	17
4 Laag 2: duurzame ruimtelijke inrichting	19
4.1 Elders bouwen	19
4.2 Anders bouwen	20
4.2.1 Integraal ophogen en/of bouwen op palen	21
4.2.2 <i>Dry proof</i> bouwen	27
4.2.3 <i>Wet proof</i> bouwen	30
4.2.4 Wonen op de 1 ^e verdieping	32
4.2.5 Woningen met een verhoogd vloerpeil	34
5 Laag 3: rampenbeheersing	37
5.1 Evacuatiestrategie verbeteren	37
6 Enkele tussentijdse reflecties bij de kansrijkdomkaarten	39
6.1 Economische effectiviteit?	39
6.2 Uitwisselbaarheid lagen?	40
7 Bevindingen per regio	43
7.1 Inleiding	43
7.2 Rivierengebied	43
7.2.1 Deltadijken	43
7.2.2 Compartimentering	44
7.2.3 Uitlaatwerk	44
7.2.4 Elders bouwen	44
7.2.5 Anders bouwen	45
7.2.6 Evacuatie	46

7.2.7	Overige overwegingen	47
7.3	Rijnmond-Drechtsteden	47
7.3.1	Deltadijken	47
7.3.2	Compartimentering	48
7.3.3	Uitlaatwerk	48
7.3.4	Elders bouwen	48
7.3.5	Anders bouwen	49
7.3.6	Evacuatie	51
7.3.7	Overige overwegingen	51
7.4	IJsselmeergebied	52
7.4.1	Deltadijken	52
7.4.2	Compartimenteren	52
7.4.3	Uitlaatwerk	52
7.4.4	Elders bouwen	52
7.4.5	Anders bouwen	53
7.4.6	Evacuatie	54
7.4.7	Overige overwegingen	54
7.5	Waddengebied	55
7.5.1	Deltadijken	55
7.5.2	Compartimenteren	55
7.5.3	Uitlaatwerk	55
7.5.4	Elders bouwen	55
7.5.5	Anders bouwen	55
7.5.6	Evacuatie	57
7.5.7	Overige overwegingen	57
7.6	Hollandse Kust	58
7.6.1	Deltadijken	58
7.6.2	Compartimenteren	58
7.6.3	Uitlaatwerk	58
7.6.4	Elders bouwen	58
7.6.5	Anders bouwen	58
7.6.6	Evacuatie	60
7.6.7	Overige overwegingen	60
7.7	Zuidwestelijke Delta	61
7.7.1	Deltadijken	61
7.7.2	Compartimenteren	61
7.7.3	Uitlaatwerk	61
7.7.4	Elders bouwen	61
7.7.5	Anders bouwen	61
7.7.6	Evacuatie	63
7.7.7	Overige overwegingen	63
8	Literatuur	65

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Verschillende deelprogramma's van het Deltaprogramma voeren een verkenning uit naar kansrijke maatregelen gericht op het reduceren van overstromingsrisico's. Hierbij wordt gekeken naar maatregelen die gericht zijn op het verkleinen van de kans op een overstroming, bijvoorbeeld door middel van dijkversterking of verlaging van de hydraulische belasting door rivierverruiming. Er wordt echter ook gekeken naar maatregelen die gericht zijn op het beperken van de gevolgen van een overstroming. Men kan dan denken aan maatregelen in de sfeer van de ruimtelijke inrichting (bijv. aangepast bouwen) en de rampenbeheersing (bijv. het verbeteren van preventieve evacuatie). Maatregelen die gericht zijn op het verkleinen van de overstromingskans worden wel laag 1 genoemd in de zogenaamde meerlaagsveiligheid benadering. Gevolg beperkende maatregelen vallen onder laag 2 (ruimtelijke inrichting) of laag 3 (rampenbeheersing).

Het onderhavige onderzoek draagt bij aan de verkenning van mogelijk kansrijke maatregelen in laag 2 en 3. Daartoe wordt in beeld gebracht:

- waar de maatregel te overwegen valt gezien de kenmerken van de overstroming (met name waterdiepte en overstromingsduur);
- hoeveel 'winst' de maatregel oplevert in termen van percentage geëvacueerden of vermeden economische schade;
- bij welke overstromingskans de maatregel economisch gezien waarschijnlijk rendabel is (baten groter dan de kosten).

Deze informatie wordt inzichtelijk gemaakt via zogenaamde kansrijkdomkaarten meerlaagsveiligheid (MLV).

De resultaten van dit onderzoek kunnen door de deelprogramma's worden gebruikt om – eventueel in overleg met de regio's – na te gaan of en waar maatregelen uit de 2e en 3e laag kunnen worden geïmplementeerd aanvullend op, of in plaats van, maatregelen uit laag 1. De kansrijkdomkaarten MLV ondersteunen deze verkenning.

1.2 Doel en afbakening

De kansrijkdomkaarten hebben tot doel inzicht te geven in de 'kansrijkdom' van de implementatie van een specifieke maatregel. Kansrijkdom is daarbij een functie van een aantal criteria, waaronder doeltreffendheid en verwachte economische effectiviteit (wegen de investeringskosten van de maatregel op tegen de baten in termen van vermeden risico).

De kaarten geven geen inzicht in de kosteneffectiviteit in vergelijking tot maatregelen in laag 1. De kaarten geven daarmee alleen antwoord op de vraag of er zich in een bepaald gebied kansen voordoen voor maatregelen uit laag 2 en 3. Ze geven geen antwoord op de vraag of uitwisseling van maatregelen uit laag 2 en 3 met maatregelen uit laag 1 een aantrekkelijke optie is.

1.3 Het product

Voor een set aan maatregelen zijn kansrijkdomkaarten gemaakt. Een overzicht van de geselecteerde maatregelen is gegeven in hoofdstuk 2. De daarop volgende hoofdstukken tonen de verschillende kaarten. Iedere kaart is voorzien van een korte toelichting over de wijze waarop de kaart tot stand is gekomen (gebruikte gegevens, uitgangspunten en aannamen, etc.). De getoonde kaarten zijn land dekkend, maar zijn ook digitaal en in hoge resolutie beschikbaar, zodat door de gebruiker ingezoomd kan worden.

Opgemerkt wordt dat voor de kaarten uitsluitend gebruik is gemaakt van bestaand en beschikbaar materiaal. Er zijn geen aanvullende berekeningen of kostenramingen uitgevoerd.

1.4 Gebruik van de kaarten

In geval van nieuwbouw- of herstructureringsplannen in overstroombaar gebied kan het wenselijk zijn om rekening te houden met het overstromingsrisico ter plaatse. Ook wanneer het Lokaal Individueel Risico (LIR) hoog is kunnen verschillende typen maatregelen overwogen worden.

Nieuwbouw

Figuur 1.1 geeft een indicatie van de gebieden waar de komende decennia sprake kan zijn van nieuwbouw. De kaarten zijn gebaseerd op de landgebruik scenario's van het PBL. De landgebruik scenario's hebben betrekking op de socio-economische scenario's *Regional Communities* (beperkte economische groei, lokaal krimp) en *Global Economy* (sterke economische groei). Hoewel de PBL-landgebruiksprognoses niet bedoeld zijn om op dit detailniveau toe te passen, geven ze naar onze mening wel een goede indruk van waar veel of juist weinig bouwactiviteiten te verwachten zijn. De regio's (provincies, gemeenten) kunnen voor het specifiekere identificeren van gebieden waar de komende jaren ontwikkelingen plaats gaan vinden, natuurlijk gebruik maken van lokale informatie (streekplannen e.d.).

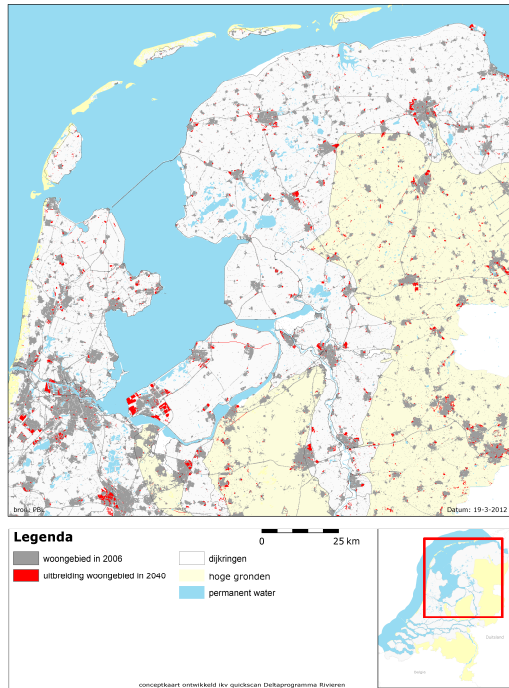
In het geval van nieuwbouw worden de volgende stappen in overweging gegeven:

- 1 Kijk eerst naar de LIR-kaart (Lokaal Individueel Risico, Figuur 4.1): is de kans op overlijden in een gebied erg groot, bouw dan liever elders.
- 2 Kijk vervolgens naar de LSG-kaart (Lokaal Schade Gevaar, Figuur 4.2): is de potentiële schade aan gebouwen erg groot, bouw dan eveneens liever elders.
- 3 Als elders bouwen geen optie is, gebruik dan de kaarten in dit rapport om te zien of aangepast bouwen zinvol is.

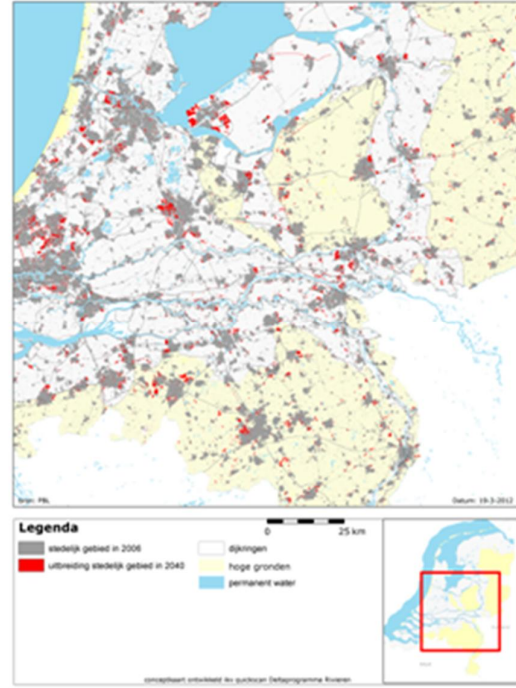
Herstructurering

De locatie is al gegeven, dus de optie om elders te ontwikkelen is feitelijk niet meer aan de orde. Gebruik de kaarten uit dit rapport om na te gaan of het zinvol/kansrijk is aangepast te bouwen.

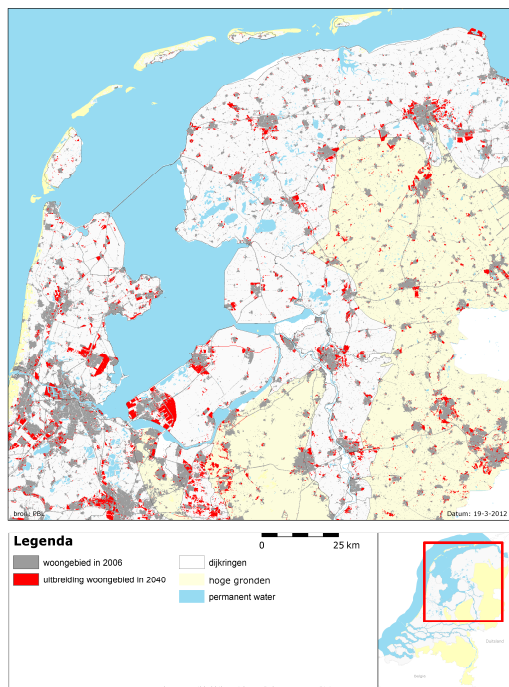
Ontwikkeling van stedelijk gebied in 2040 volgens het RC-scenario



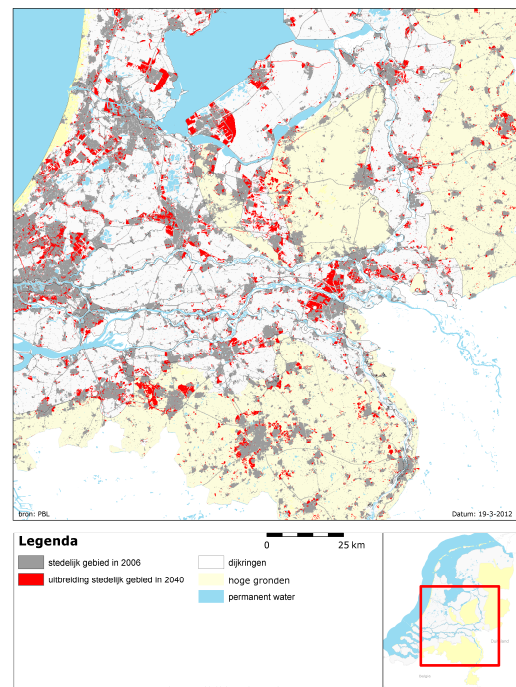
Ontwikkeling van stedelijk gebied in 2040 volgens het RC-scenario



Ontwikkeling van stedelijk gebied in 2040 volgens het GE-scenario



Ontwikkeling van stedelijk gebied in 2040 volgens het GE-scenario



Figuur 1.1 Verwachte nieuwbouw tot 2050 op basis van landgebruik scenario's van het PBL. Boven: Regional Communities (beperkte economische groei, lokaal krimp). Onder: Global Economy (sterke economische groei)

Bestaande bebouwing

Wanneer in een gebied met reeds bestaande bebouwing het LIR groot is, kan worden overwogen om de dijk doorbraakvrij te maken om plotselinge en snelle instroom van grote hoeveelheden water te voorkomen. Een kleinere overstromingskans verkleint het LIR, maar een geringere stijgsnelheid doet dat nog extra doordat tijd wordt gewonnen om te vluchten. Wanneer het LIR slechts plaatselijk hoog is, kan dijkversterking een onevenredig dure maatregel zijn. Dan kan men denken aan:

- Verbetering evacuatie
- Hoogwatervrije shelters

1.5 Kanttekeningen bij gebruik van de kaarten

Bij het gebruik van de kaarten is het belangrijk dat men zich bewust is van het volgende:

- De kaarten zijn gebaseerd op de resultaten van overstromingssimulaties. Aan deze simulaties liggen vele aannamen ten grondslag die van invloed zijn op de resultaten. Zo is de gehanteerde bresbreedte van invloed op de hoeveelheid water die een dijkkring instroomt. Onzekerheden in het instroomvolume resulteren in onzekerheden in het overstroomd oppervlak en in de waterdiepte. Onzekerheden in berekende waterdiepte bedragen al snel enkele decimeters. In gebieden met secundaire keringen (bijv. in Zeeland) of overige regionale keringen (bijv. de boezemkades in veel kustdijkkringen), kan de onzekerheid in de berekende waterdiepte nog verder oplopen, omdat wordt aangenomen dat deze regionale keringen blijven staan wanneer het water er tegen aan staat of er overheen stroomt. Meer informatie over onzekerheden in overstromingsmodellering is te vinden in Asselman et al. (2010).
- De vermeden schade is berekend met behulp van zogenaamde schadefuncties. Ook deze functies kennen een onzekerheid.
- De uitgangspunten en onzekerheden van de gebruikte bronnen (overstroming simulaties en schadefuncties) werken door in de kaart. We adviseren daarom om bij gebruik van de kaart niet verder in te zoomen dan op wijkniveau (een of enkele km²). *'Kijk door de oogharen naar het kaartbeeld!* En *'reken je niet rijk'* wanneer een maatregel in 1 pixel kansrijk is, terwijl dat in omringende pixels niet het geval is.
- De kaarten zijn gebaseerd op de huidige situatie. Dat wil zeggen dat overstroming simulaties zijn uitgevoerd voor dijkdoorbraken onder huidige maatgevende omstandigheden. Bij hogere hoogwaterstanden, bijvoorbeeld als gevolg van klimaatverandering, kan het overstroomd oppervlak toenemen en/of de waterdiepte groter worden. Dit betekent dat de grenzen op de kaarten op kunnen schuiven.
- Maatregelen in laag 2 en 3 zijn doorgaans economisch gezien rendabeler bij een relatief grote overstromingskans. Dat betekent dat normverhoging en dijkversterking deze gevolg beperkende maatregelen economisch gezien minder aantrekkelijk maakt.
- De kaarten zijn bedoeld voor strategieontwikkeling binnen het Deltaprogramma. Door de bovengenoemde beperkingen zijn ze niet geschikt voor gebiedsontwikkeling op lokale schaal.

2 Geselecteerde maatregelen en beschikbare gegevens

2.1 Selectie van maatregelen

Voor het selecteren van maatregelen die op kaart worden weergegeven, is gebruik gemaakt van inventarisaties die reeds in het kader van eerdere studies zijn uitgevoerd. Per mogelijke maatregel is in Tabel 2.1 aangegeven waarom deze maatregel wel/niet op kaart is gezet.

Tabel 2.1 Selectie van op kaart weer te geven maatregelen

Laag	Maatregeltype	Maatregelnaam	Opmerking
Laag 1: Hoogwater- bescher- ming	Aanleg nieuwe kades en dijken		Kan overall, niet op kaart
	Dijkversterking /verhoging		Idem
	Deltadijk		Op kaart. Analyse slachtofferisico van De Bruijn als vertrekpunt, aangevuld met economische risico's per dijktraject
	Faalkans kering/dam verkleinen (bijv. Maeslantkering)		Niet op kaart
	Verlaging hydraulische belasting	Rivierverruiming	Niet op kaart (kan in theorie in hele bovenrivierengebied, informatie beschikbaar in 'Blokendoos DPR')
Laag 2: Duurzame ruimtelijke inrichting	Beïnvloeden overstromingsverloop	Aanpassen afvoerverdeling	Niet op kaart
		Compartmentering	Op basis van compartimenteringstudie
		De-compartmentering	Niet op kaart (bleek bij compartimenteringstudie niet aantrekkelijk)
		Geleidedijk	Niet op kaart (weinig over bekend)
	Aangepast bouwen	Uitlaatwerk	Op kaart
		Ophogen (integraal (hele wijk) of partieel (verschil straatpeil vloerpeil))	Op kaart
		Bouwen op palen	Op kaart, indien mogelijk samen met (partieel) ophogen
		Inrichting gebouwen (kwetsbare voorzieningen hoger plaatsen)	Op kaart
		Wet proof bouwen	Op kaart
		Dry proof bouwen	Op kaart
Drijvend bouwen	Niet op kaart (kan in vrijwel alle wateren, uitgezonderd wateren met hoge stroomsnelheid en/of belangrijke scheepvaartfunctie)		
Amfibische	Niet op kaart (kan in vrijwel alle		

Laag	Maatregeltipe	Maatregelnaam	Opmerking
		woningen/gebouwen	wateren, uitgezonderd wateren met hoge stroomsnelheid en/of belangrijke scheepvaartfunctie. Morfologie is extra punt van aandacht)
		Gebouw als kering	Niet op kaart (zeer locatie specifiek).
	Bescherming kritische infrastructuur	Watervrij aanleggen noodcommunicatienetwerk, electriciteitsnetwerk, etc	Niet op kaart. Kan in principe altijd.
	Bouwen ter ondersteuning crisisbeheersing	Aanleg evacuatie routes + vluchtplaatsen (shelters e.d.)	Niet op kaart
Laag 3: Crisis-beheersing	Verbeteren crisisbeheersing	Evacuatiestrategie verbeteren	Op kaart
		Verbeteren risicobewustzijn	Niet op kaart (is overal zinvol, effectiviteit is onvoldoende bekend).

2.2 Beschikbare gegevens: overstromingskenmerken

De gebruikte gegevens worden zo veel mogelijk per maatregel genoemd en beschreven. Dit hoofdstuk beschrijft de informatie die voor het bepalen van de kansrijkdom van meerdere maatregelen gebruikt is. Daarbij gaat het om:

- resultaten van overstromingssimulaties;
- schade- en slachtofferfuncties.

Vanwege het veelvuldig gebruik van deze gegevens worden deze hier kort behandeld. Deze paragraaf gaat in op de overstromingssimulaties. De schade- en slachtofferfuncties worden beschreven in paragraaf 2.3.

2.2.1 Waterdiepte

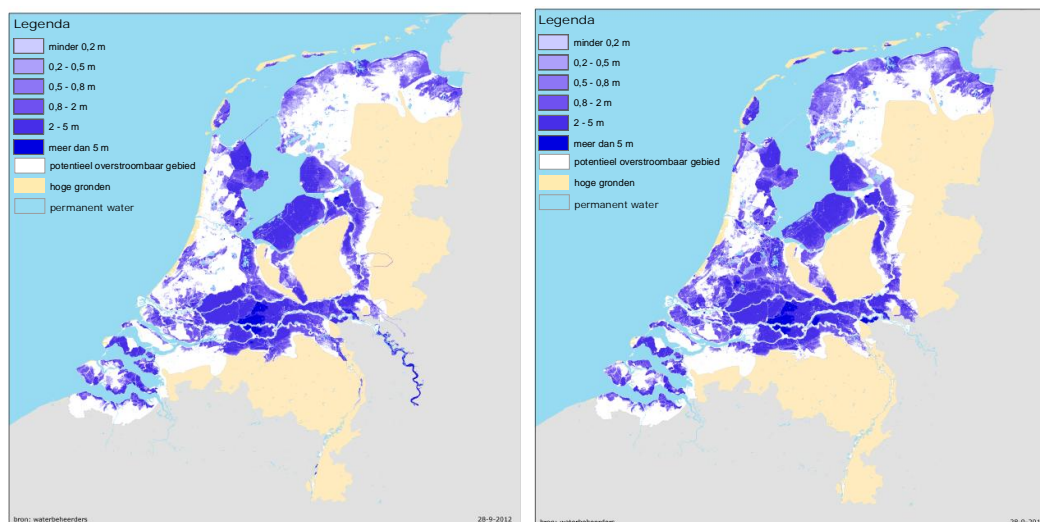
Waterdieptes bij doorbraken vanuit het hoofdwatersysteem

In het kader van de implementatie van de EU-Richtlijn OverstromingsRisico's (ROR), wordt gewerkt aan een landelijke database met overstromingssimulaties. Deze database bevat de simulaties die zijn uitgevoerd voor VNK2, maar ook aanvullende simulaties.

Ook voor het project WaterVeiligheid 21^e eeuw (WV21) is al gebruik gemaakt van deze database om tot een landelijke waterdieptekaart te komen. Die kaart is weergegeven in Figuur 2.1 (links). Belangrijke aannames bij deze kaart waren:

- er treden geen doorbraken op van duingebieden (dit verklaart de grote 'witte' gebieden in het westelijk deel van Centraal Holland, bijvoorbeeld tussen Den Haag en Hoek van Holland);
- c-keringen zijn op orde (hierdoor stroomt er bij een doorbraak vanuit de Nederrijn-Lek geen water over de Hollandsche IJssel en/of het Amsterdam-Rijnkanaal naar Centraal Holland).

Met name deze laatste aanname is omstreden en niet overeenkomstig de huidige situatie. Daarom wordt deze niet onderschreven door het Deltaprogramma Rivieren, en wordt de systeemwerking tussen de dijkringen aan de noordkant van de Nederrijn-Lek juist als een belangrijk onderwerp van onderzoek geïdentificeerd. Dit maakt het gewenst een andere waterdieptekaart te gebruiken. Er is teruggegrepen op de kaart van www.risicokaart.nl (Figuur 2.1, rechts) van circa 2008, waarin helaas echter ook overstromingssimulaties met uiterst kleine kans van voorkomen zijn verdisconteerd.



Figuur 2.1 Landelijke waterdieptekaart gemaakt voor WV21 (links, zie De Bruijn & Van der Doef, 2011), en landelijke waterdieptekaart gemaakt voor risicokaart.nl (rechts, zie www.risicokaart.nl)

Waterdieptes in onbedijkte gebieden

De landelijke waterdieptekaart is aangevuld met waterdieptes die zijn berekend voor onbedijkte gebieden. In het kader van de EU-ROR heeft Rijkswaterstaat de maximale waterdieptes bij verschillende herhalingstijden in buitendijkse gebieden bepaald. Deze gegevens zijn op dit moment beschikbaar voor alle zoete hoofdwatersystemen en het overgangsgebied naar de zoute wateren. De buitendijkse gebieden van de Waddenkust, Noordzeekust en Zeeuwse Delta zijn nog niet in beeld gebracht.

Waterdieptes bij doorbraken vanuit het regionale systeem

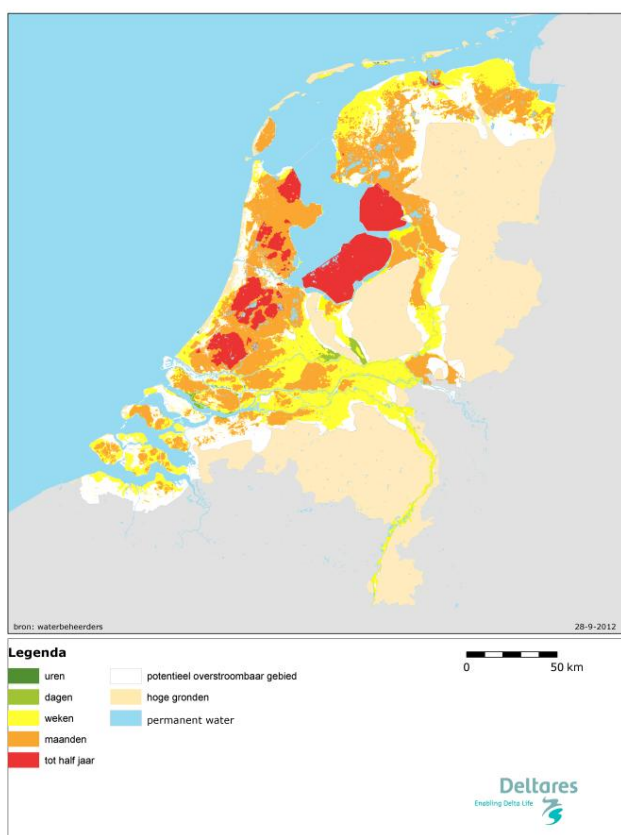
In het kader van de EU-ROR worden ook gegevens verzameld over overstromingen vanuit regionale wateren, zoals door doorbrekende boezemkaden. Waterdiepte kaarten voor het regionale systeem zijn nog niet landsdekkend beschikbaar. Naar verwachting komen in de loop van 2013 aanvullende gegevens beschikbaar, waarna kansrijkdomkaarten kunnen worden gemaakt waarbij ook rekening is gehouden met overstromingen vanuit regionale wateren.

Naar verwachting zal de kansrijkdom van verscheidene maatregelen, vooral langs de kust, sterk toenemen wanneer ook overstromingen vanuit het regionale systeem in beschouwing worden genomen.

2.2.2 Overstromingsduur

Behalve waterdiepte speelt voor een aantal maatregelen ook de overstromingsduur een rol. Hoewel de overstromingsduur een correlatie vertoont met de waterdieptekaart, is voor de relevante maatregelen toch ook gebruik gemaakt van een eerste versie van een overstromingsduurkaart zoals deze in 2009 voor de ROR is gemaakt (Asselman, ongepubliceerd). Zie voor meer informatie het concept-handboek 'Overstromingsrisico's op de kaart' (Anonymus, concept juli 2011).

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



Figuur 2.2 Indicatieve overstromingsduur (Asselman, ongepubliceerd).

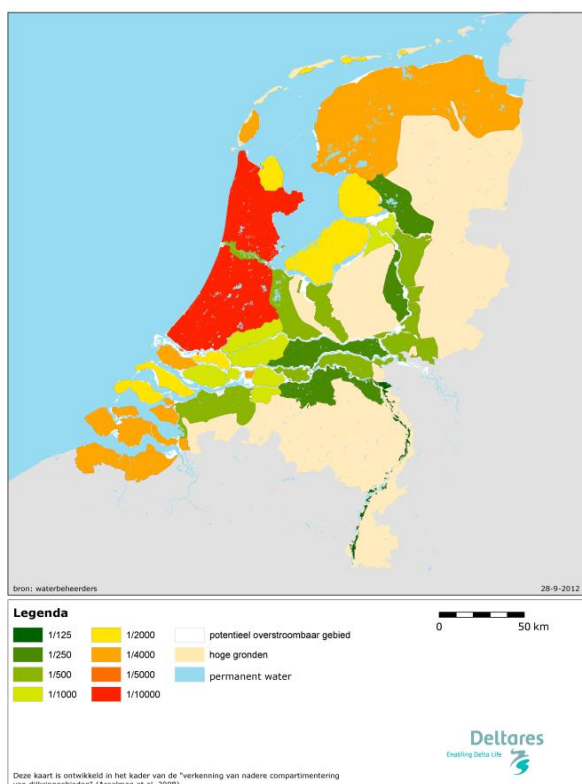
2.2.3 Overstromingsfrequentie

Om na te gaan of een maatregel economisch gezien aantrekkelijk is, is het belangrijk om een indicatie te hebben van de overstromingskans of -frequentie. Bij het vaststellen van de overstromingskans is dezelfde indeling gehanteerd als bij de ROR, te weten:

- Orde 1:10 per jaar
- Orde 1:100 per jaar
- Orde 1:1000 per jaar of nog minder frequent.

Figuur 2.3 toont de overstromingskansen zoals geschat in het kader van WV21 (2^e referentie). Dit zijn de geschatte overstromingskansen na uitvoering van lopende programma's zoals het HWBP2, nHWBP, Ruimte voor de Rivier en Maaswerken. Nieuwe inzichten in piping en lengte-effecten zorgen ervoor dat vooral in het rivierengebied de overstromingskansen dan nog beduidend groter zijn dan de overschrijdingskansen zoals vastgelegd in de wet.

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

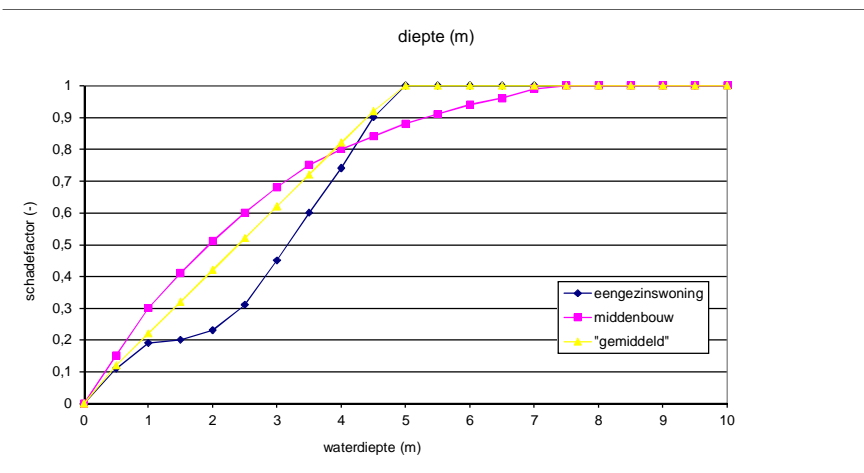


Figuur 2.3 Overstromingskansen conform de 2^e referentie WV21

2.3 Beschikbare en gebruikte schade- en slachtofferfuncties

Om de te vermijden schade te kunnen berekenen bij maatregelen die betrekking hebben op aangepast bouwen, is uitgegaan van de schade aan een standaard eengezinswoning conform het HIS-SSM. De maximumschade is gelijk verondersteld aan het bedrag genoemd in het HIS.

De schadefunctie zelf (percentage van de maximumschade als functie van de waterdiepte) is echter enigszins vereenvoudigd. De reden voor de aanpassing is het soms onregelmatige en onverklaarbare verloop van de functies. Dit leidt tot onverklaarbare sprongen en fluctuaties in vermeden schade. Figuur 2.4 toont de schadefuncties voor eengezinswoningen en middenbouw, zoals opgenomen in het HIS-SSM. In deze studie is gebruik gemaakt van de aangepaste functie, hier 'gemiddeld' genoemd.



Figuur 2.4 Schadefuncties uit het HIS-SSM en gebruikte schadefunctie 'gemiddeld'.

3 Laag 1: hoogwaterbescherming en beheersing overstromingsverloop

3.1 Deltadijk

Deltadijken – of ‘praktisch doorbraakvrije’ dijken – staan in de belangstelling omdat ze niet alleen de kans op een overstroming verkleinen, maar ook de gevolgen van overstromingen kunnen beperken doordat ze de instroomsnelheid beperken – waarmee tijd om te vluchten wordt gewonnen – en het instroomvolume kunnen beperken – waardoor minder onderloopt. De omvorming van conventionele dijken tot deltdijken is echter ingrijpend en kostbaar. Dat betekent dat niet verwacht kan worden dat in korte tijd alle circa 3000 kilometer primaire waterkering zal worden aangepakt. Daarmee wordt de vraag relevant: waar te beginnen?

Er zijn dan drie invalshoeken denkbaar:

- 1 Waar kunnen grote aantallen slachtoffers worden voorkomen?
- 2 Waar kan zeer grote economische schade of ontwrichting worden voorkomen?
- 3 Waar kan een domino-effect worden voorkomen?

De Bruijn & Klijn (2011) hebben al globaal verkend waar deltdijken grote aantallen slachtoffers kunnen voorkomen en bij voorkeur ook nog tegen relatief geringe kosten. Daartoe hebben ze in beeld gebracht waar een dijkdoorbraak tot zeer veel slachtoffers leidt, omdat het water plotseling en snel komt. Vervolgens zijn ze voor alle dijkvakken nagegaan:

- hoeveel kilometer dijk doorbraakvrij gemaakt zou moeten worden (lengte van het dijkvak);
- hoeveel slachtoffers voorkomen kunnen worden per kilometer deltdijk (de effectiviteit).

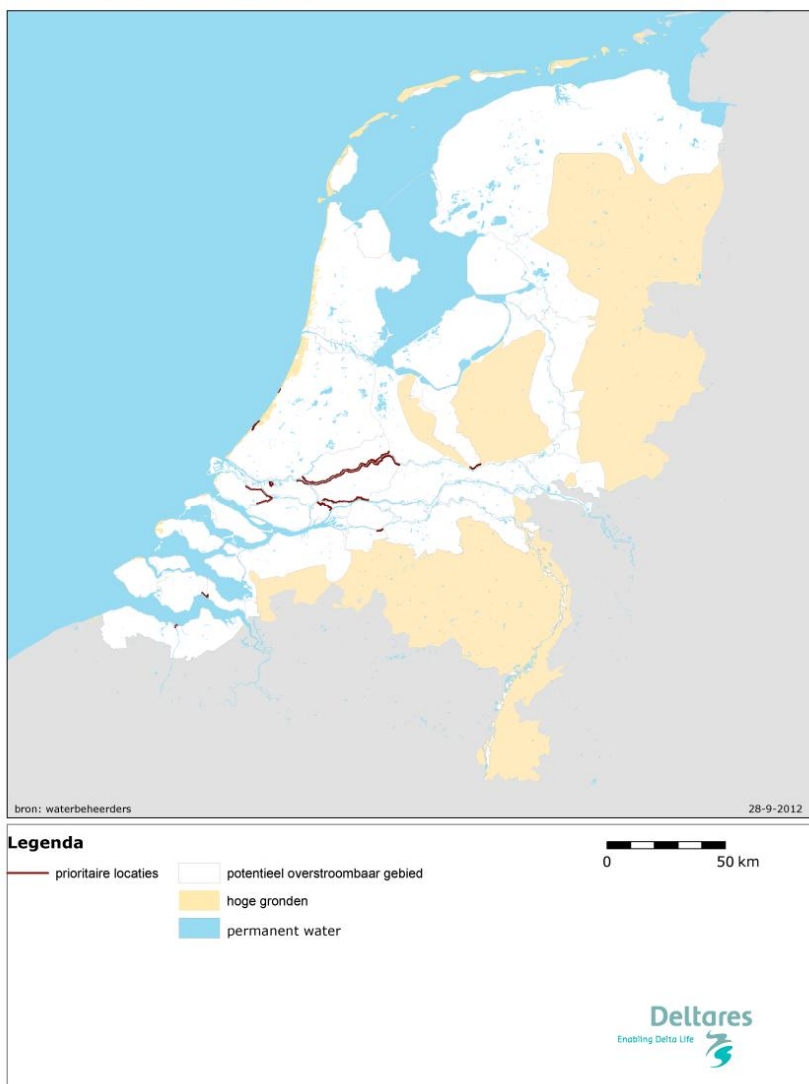
De resultaten van hun analyse zijn weergegeven in Figuur 3.1.

Ook vanuit economisch perspectief kan overwogen worden om een deltdijk aan te leggen, omdat dergelijke dijken het uiteindelijk overstroomde areaal kunnen beperken evenals de bereikte waterdiepten, doordat de instroom van kortere duur is als er geen bres in de waterkering ontstaat. De grootste reductie van het schaderisico is te verwachten op de donkerbruin gekleurde trajecten in Figuur 3.2.a. Het betreft vooral een aantal trajecten in het bovenrivierengebied. Wanneer de schade in geval van doorbraak als maat wordt gehanteerd, komen de donkerbruine trajecten in Figuur 3.2.b in aanmerking. Naast de trajecten in het bovenrivierengebied komt ook een aantal trajecten in het benedenrivierengebied, langs de kust en het IJsselmeer mogelijk in aanmerking. De reden dat deze trajecten niet op Figuur 3.2.a te zien zijn hangt samen met de overstromingskansen. Door de kleinere overstromingskansen in het benedenrivierengebied en langs de kust is het risico per meter dijk hier lager dan in het rivierengebied. De absolute schade in geval van doorbraak kan echter vergelijkbaar zijn (zie Figuur 3.2.b).

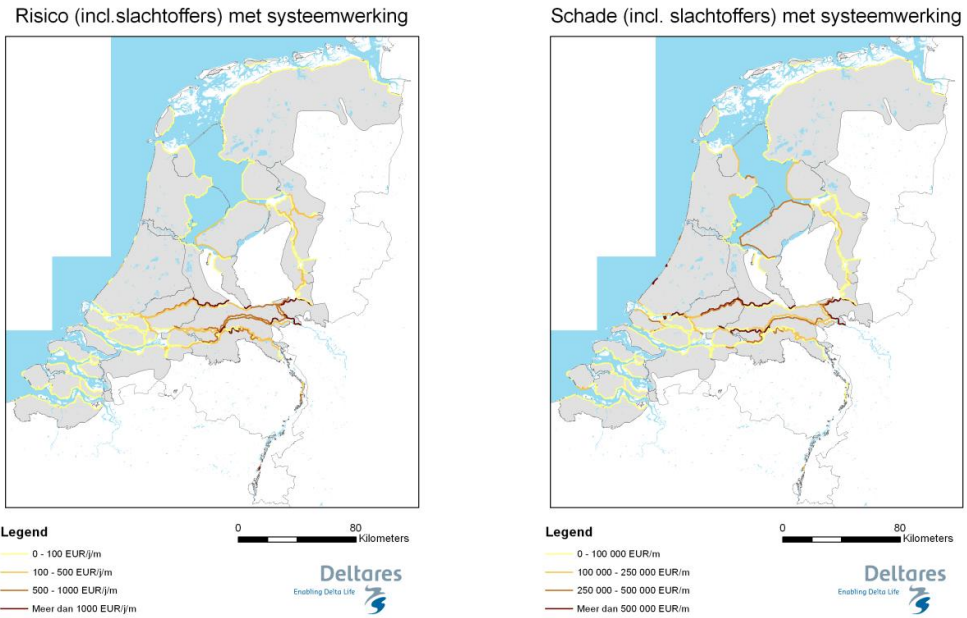
De Bruijn & Klijn (2011) stelden al dat deltdijken mogelijk ook gewenst zijn op dijkvakken waar ‘negatieve systeemwerking’ kan optreden, ook wel domino-effect of sneeuwbaaleffect genoemd. Deze gedachte is door Van der Most & Klijn (2013) nog wat uitgewerkt; zij spreken in dit verband van ‘systeem dijken’. Dergelijke systeemwerking wordt onder meer gevreesd langs de Boven-Rijn (Rijn en IJssel), langs de Waal (Land van Maas en Waal en Heerewaarden), en langs de Lek.

Omdat de slachtofferaantallen niet of nauwelijks groter zijn met dan zonder systeemwerking (er is in de 'stroomafwaarts' gelegen dijkkring immers veel tijd beschikbaar om te vluchten) zijn deze locaties door De Bruijn & Klijn niet in kaart gebracht. Volledigheidshalve zijn deze dijktrajecten in het kader van de onderhavige studie wel op kaart gezet (Figuur 3.3).

Prioritaire locaties van meest effectieve aanleg Deltadijken
Op basis van studie Deltadijken: locaties waar deze het meest effectief slachtofferrisico's reduceren (de Bruijn en Klijn, 2011)



Figuur 3.1 Ligging kansrijke dijktrajecten voor aanleg deltadijk om het slachtofferrisico te beperken (De Bruijn & Klijn, 2011)



a

b

Figuur 3.2 Kansrijke dijktrajecten voor aanleg deltadijk op basis van (a) het schaderisico per meter dijk, (b) schade per meter dijk in geval van doorbraak



Figuur 3.3 Ligging kansrijke dijktrajecten voor aanleg deltadijk om negatieve systeemwerking te voorkomen

3.2 Compartimentering

Compartimenteren betekent letterlijk onderverdelen. Zoals men een schip met watervaste schotten compartimenteert om te voorkomen dat het zinkt als het lek slaat, kan men een dijkkring compartimenteren om te voorkomen dat het gehele gebied onder water loopt. In strikte zin is compartimentering van een dijkkring dan ook het opdelen van een grote dijkkring in (een aantal) kleinere dijkkringen.

De kansrijkdom voor compartimentering is onderzocht in het kader van de Compartimenteringstudie (Asselman et al., 2008). Aan de hand van een aantal criteria, waaronder de vorm van de dijkkring, potentiële schadereductie en de overstromingskans, is getracht een oordeel te geven per dijkkring. Dit resulteerde in het kaartbeeld zoals weergegeven in Figuur 3.4. Opgemerkt wordt dat dit kaartbeeld sterk beïnvloed is door de economische effectiviteit (zijn de baten groter dan de kosten?).

Omdat Asselman et al. (2008) indertijd hebben aangenomen dat de overstromingskansen gelijk waren aan de in de wet vast gelegde overschrijdingskansen, is de kansrijkdom mogelijk onderschat. Dit geldt vooral voor het bovenrivierengebied, waar de overstromingskansen naar verwachting in werkelijkheid veel groter zijn dan de overschrijdingskansen (zie ook Figuur 2.3). Hoe groter de overstromingskans, des te aantrekkelijker het wordt om een gevolgbeperkende maatregel te treffen. Dit geldt ook voor compartimentering.

Omgekeerd moet worden opgemerkt dat de kansrijkdom voor compartimentering afneemt wanneer de beschermingsnorm wordt aangescherpt. Zo is compartimentering van dijkkring 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden rendabel bij de huidige overstromingskans en bij een overstromingskans in de orde van 1:1250 per jaar, maar niet bij een overstromingskans van 1:4000 per jaar).



Figuur 3.4 Kansrijkdom compartimentering (Asselman et al., 2008)

3.3 Uitlaatwerk

In hellende dijkeringen, zoals in het rivierengebied, kan de waterdiepte in het meest benedenstroomse deel van de dijkkring groot worden. Dit is onder meer te zien in het westelijk deel van dijkkring 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden) in Figuur 2.1. Bij compartimentering van hellende dijkeringen kan de waterdiepte bovenstrooms van een nieuwe compartimenteringskering eveneens toenemen (het water kan niet meer zo makkelijk wegstromen). Om de waterdieptes op dit soort locaties te verminderen, kan worden overwogen om een uitlaatwerk aan te leggen. Dat is vooral zinvol in combinatie met bestaande of nieuwe compartimentering. Een voorbeeld van een reeds bestaand uitlaatwerk is de Dalemse overlaat in het westelijk deel van dijkkring 43 (Figuur 3.5), waarmee de belasting van de Diefdijk wordt verkleind en doorbraak van die compartimenteringskering wordt voorkomen.



Figuur 3.5 Dalemse overlaat (tussen Vuren en Dalem). Het beklinkerde deel van de dijk kan worden weggeschoven tijdens een overstroming om het water terug te laten stromen naar de rivier. (beeldbank.rws.nl, Rijkswaterstaat / Henri Cormont)

Ook op andere locaties kan een uitlaatwerk uitkomst bieden. Ze bevinden zich vooral aan de benedenstroomse zijde van hellende dijkeringen in het rivierengebied. Deze locaties zijn te zien in Figuur 3.6.

Indicatie kansrijkdom bouw uitlaatwerken



Figuur 3.6 Kansrijke locaties voor aanleg van een uitlaatwerk

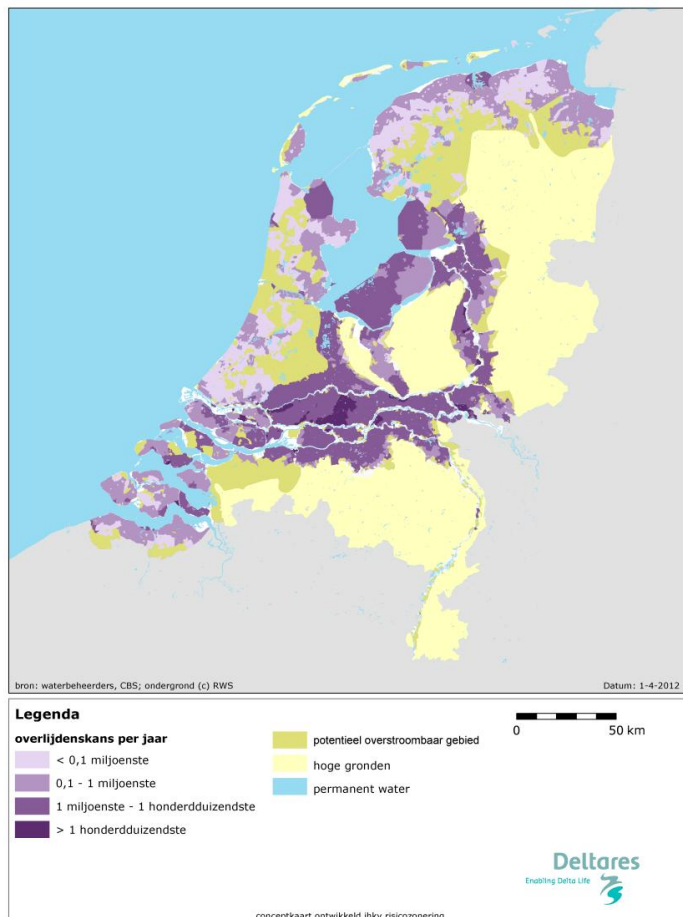
4 Laag 2: duurzame ruimtelijke inrichting

4.1 Elders bouwen

In gebieden met een groot Lokaal Individueel Risico (LIR: kans om te overlijden als gevolg van een overstroming) of een groot Lokaal Schade Gevaar (LSG: schade aan gebouwen bij overstroming) zou men zich in het geval van nieuwbouw af moeten vragen of 'elders bouwen' geen optie is. Bij voorkeur vindt woningbouw plaats op locaties met een klein LIR en bebouwing in het algemeen op een plaats met een klein LSG.

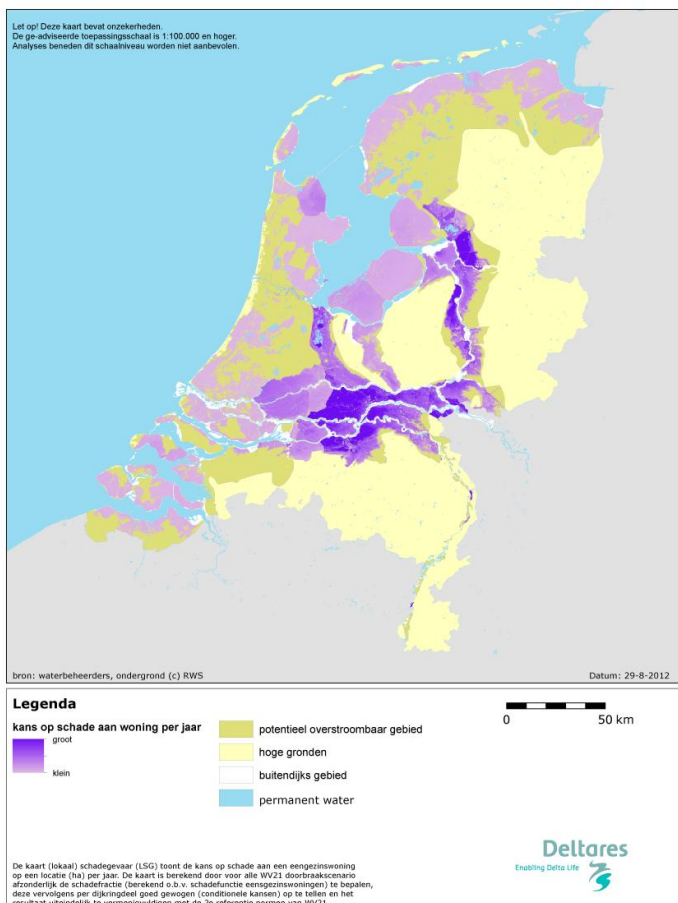
Als hulpmiddel voor dergelijke ruimtelijke planningsvragen zijn de kaarten van LIR (Figuur 4.1) en LSG (Figuur 4.2) gemaakt.

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



Figuur 4.1 Lokaal Individueel Risico (kans op overlijden van een hypothetische persoon als gevolg van een overstroming) gebaseerd op de WV21 waterdieptekaart en de 2^e referentie voor overstromingskans (Beckers & De Bruijn, 2011).

Schadegevaar als gevolg van doorbraken in primaire keringen WV21 2e referentie



Figuur 4.2 Lokaal schadegevaar (verwachte schade bij overstroming indien bebouwd), gebaseerd op de WV21 waterdiepte kaart en de 2^e referentie voor overstromingskansen.

4.2 Anders bouwen

Wanneer 'elders bouwen' niet mogelijk is, kan worden gekeken of 'anders bouwen' een optie is. Om na te gaan of aangepast bouwen een aantrekkelijke maatregel is, worden de volgende stappen doorlopen:

1. Bereken de te vermijden schade. Als er geen sprake is van te vermijden schade (bijvoorbeeld omdat de waterdiepte te groot is), is de maatregel sowieso nutteloos;
2. Ga na of er beperkingen zijn vanuit de overstromingsduur. Een aantal maatregelen is alleen kansrijk bij een beperkte overstromingsduur. Dit geldt onder meer voor *dry proof* bouwen, maar ook voor wonen op de eerste verdieping.
3. Ga na of er beperkingen zijn vanuit de stroomsnelheid. Bij waterdieptes van 1 m of meer en stroomsnelheden van 0,5 m of meer begint het voor personen moeilijk te worden om zich staande te houden. Indien er veel drijfvuil is kan bij deze stroomsnelheden ook schade op gaan treden aan gebouwen van baksteen. Bij stroomsnelheden van meer dan 2 m/s kan ook schade optreden aan betonnen constructies.

4. Bepaal of de maatregel economisch gezien rendabel is. De economische effectiviteit is een functie van de vermeden schade, de overstromingskans (samen bepalen zij de hoogte van de baten) en de kosten voor het realiseren van de maatregel. Per maatregel en per waterdiepte is er een andere 'kritieke' overstromingskans waarbij de maatregel uit kan. Om schijnnaauwkeurigheid te voorkomen is er hier voor gekozen om in globale klassen te werken. Dus niet 1/85 per jaar, maar orde 1/100 per jaar.

4.2.1 Integraal ophogen en/of bouwen op palen

Een vorm van aangepast bouwen die ook in het verleden veelvuldig is toegepast is (integraal) ophogen (wonen op terpen), zie Figuur 4.3. Door integraal ophogen kunnen woningen bij een overstroming droog blijven, of kan de schade worden beperkt doordat alleen de begane grond onder water loopt.

De maatregel 'bouwen op palen' heeft hetzelfde doel, maar realiseert dit niet door de grond onder de woning te verhogen, maar door de woning op palen te bouwen (Figuur 4.4). Omdat het effect van beide maatregelen hetzelfde is, worden ze hier samen behandeld. Het is echter wel belangrijk om op te merken dat de beleving van beide woonvormen verschillend is. Zo bleek uit onderzoek uitgevoerd door Progrez in het kader van het project Urban Flood Management (Dordrecht), dat paalwoningen minder aantrekkelijk worden gevonden wanneer de overstromingskans klein is. De lasten van het op palen wonen wegen dan niet op tegen de lusten. Bij integraal ophogen zijn de lasten geringer, waardoor deze maatregel ook bij kleine overstromingskansen aantrekkelijk wordt gevonden.



Figuur 4.3 Voorbeelden van integraal of lokaal ophogen



Figuur 4.4 Voorbeelden paalwoningen

Stap 1: Te vermijden schade

Met behulp van de waterdieptekaart en de schadefuncties is de schadereductie berekend. Dit betreft zowel de procentuele schadereductie (percentage schadevermindering ten opzichte van de verwachte schade zonder maatregel) als de absolute schade. De procentuele schadevermindering is te zien in Figuur 4.5. De absolute schadevermindering (uitgedrukt in euro's per woning) is te zien in Figuur 4.6. Zoals te verwachten is de schadereductie bij ophoging met 2m groter dan bij ophoging met 1 m. Wat opvalt, is dat de waterdiepte in een aantal dijkringen zo groot is dat zelfs bij 2 m ophoging geen reductie van de schade te verwachten valt. Het gaat hierbij om de meest benedenstroomse delen van dijkkring 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden) en dijkkring 38 (Bommelerwaard).

De kaarten afgebeeld in Figuur 4.5 en Figuur 4.6 hebben betrekking op een hoogwatersituatie met een kans van voorkomen in de orde van 1:1000 per jaar of kleiner. Voor onbedijkte gebieden, zijn ook minder extreme hoogwaters relevant. De vermeden schade bij hoogwaters met een kans van voorkomen in de orde van 1:10 of 1:100 per jaar is te zien in Figuur 4.7.

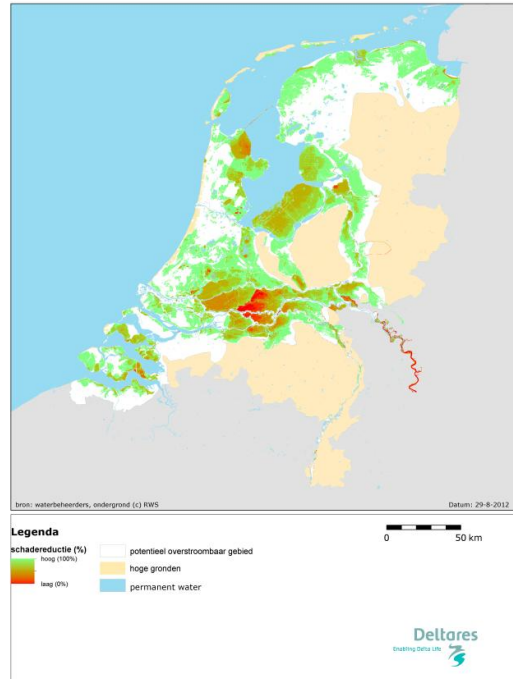
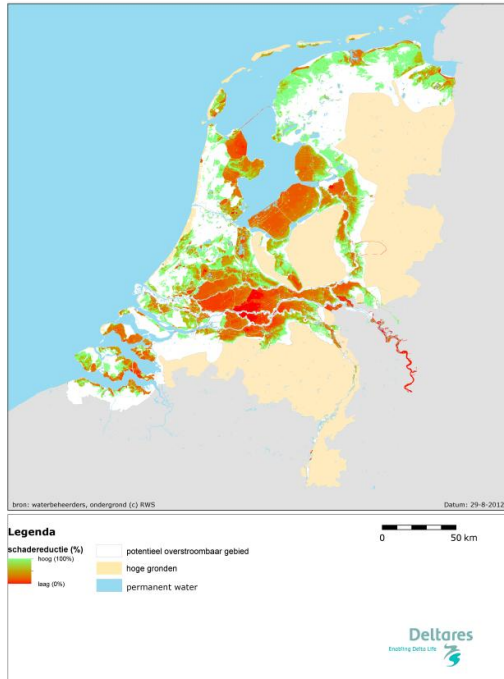
Stap 2/3: beperking vanuit overstromingsduur of stroomsnelheid

Voor integraal ophogen geldt dat er geen beperkingen zijn vanuit overstromingsduur en/of stroomsnelheden.

Opgemerkt wordt dat integraal ophogen op bodems die gevoelig zijn voor zetting wel extra aandacht behoeft. Dit geldt vooral voor niet-onderheide infrastructuur zoals wegen, kabels en leidingen, e.d. in gebieden met dikke pakketten veen en/of slappe klei in de ondergrond. Goed gefundeerde bebouwing ondervindt overigens geen hinder.

Percentuele schadereductie bij overstromingen als gevolg van doorbraken in primaire keringen indien "integraal opheven 1 m"

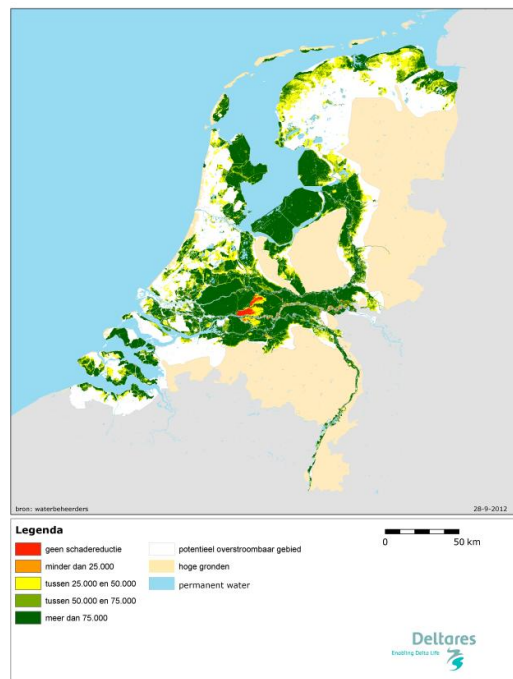
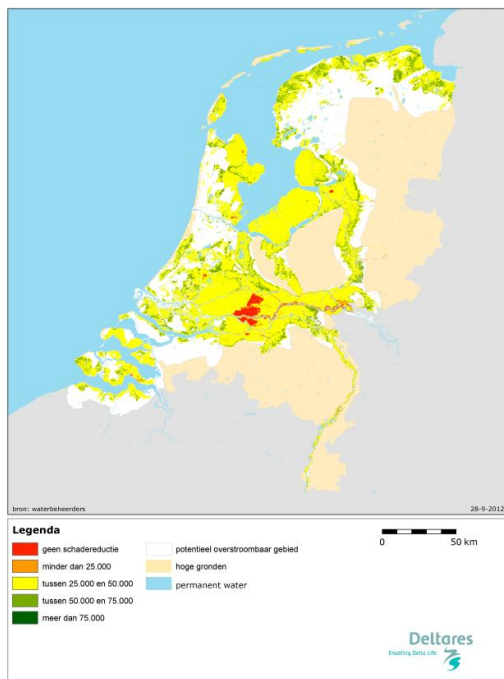
Percentuele schadereductie bij overstromingen als gevolg van doorbraken in primaire keringen indien "integraal opheven 2 m"



Figuur 4.5 Geschatte procentuele schadereductie bij integraal opheven met 1m (links) of 2m (rechts) boven het huidige maaiveldniveau (rood = 0%, groen = 100%)

Absolute schadereductie bij overstromingen met een overschrijdskans orde grootte 1/1000 jaar en kleiner indien "integraal opheven met 1m" worden toegepast

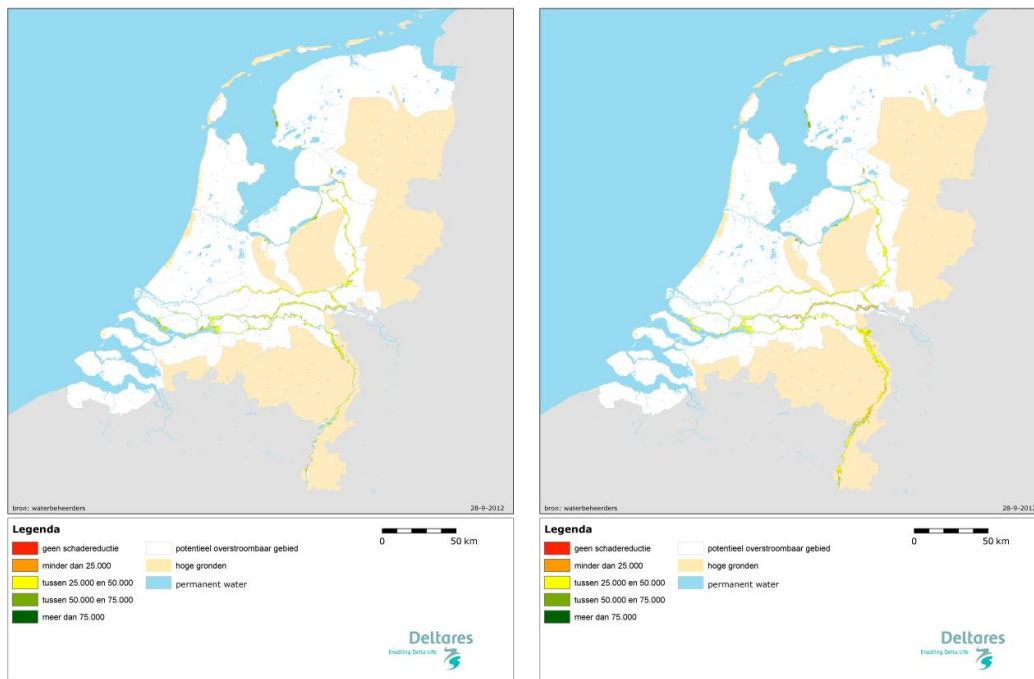
Absolute schadereductie bij overstromingen met een overschrijdskans orde grootte 1/1000 jaar en kleiner indien "integraal opheven met 2m" worden toegepast



Figuur 4.6 Geschatte absolute schadereductie (in euro per woning per gebeurtenis) bij integraal opheven met 1m (links) en 2m (rechts)

Absolute schadereductie bij overstromingen met een overschrijdskans orde grootte 1/10 jaar indien "integraal ophogen met 1m" worden toegepast

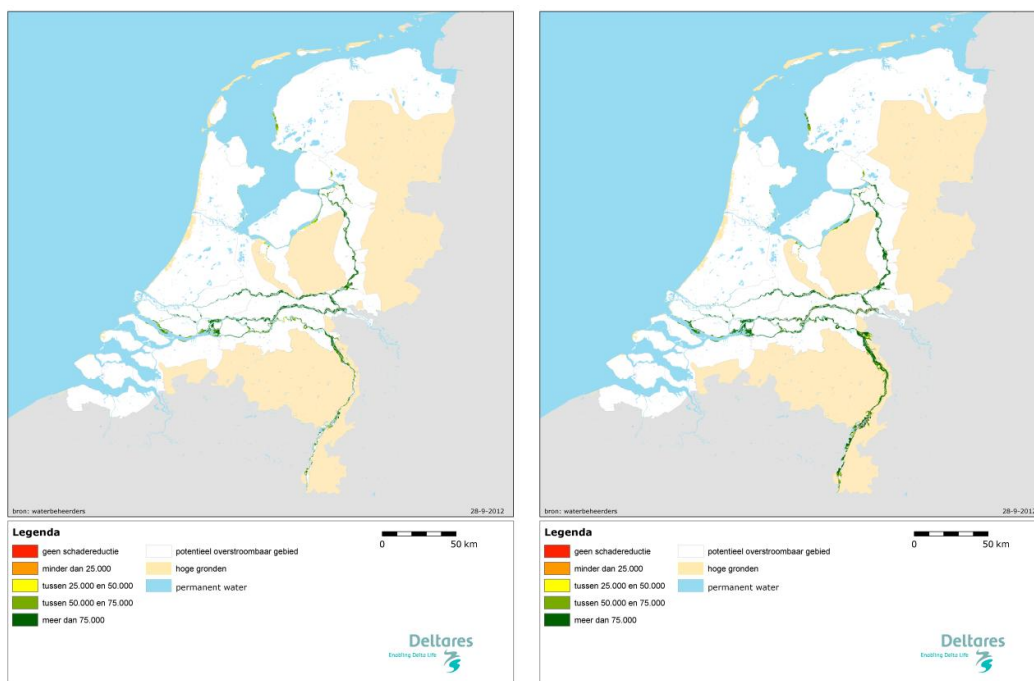
Absolute schadereductie bij overstromingen met een overschrijdskans orde grootte 1/100 jaar indien "integraal ophogen met 1m" worden toegepast



Figuur 4.7 Geschatte absolute schadereductie (in euro per woning) bij integraal ophogen met 1m, bij een hoogwater met een kans van voorkomen van 1:10 per jaar (links) en 1:100 per jaar (rechts)

Absolute schadereductie bij overstromingen met een overschrijdskans orde grootte 1/10 jaar indien "integraal ophogen met 2m" worden toegepast

Absolute schadereductie bij overstromingen met een overschrijdskans orde grootte 1/100 jaar indien "integraal ophogen met 2m" worden toegepast



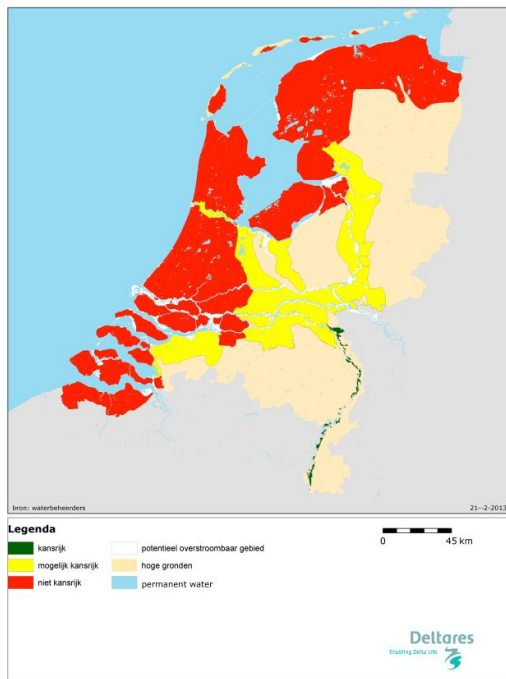
Figuur 4.8 Geschatte absolute schadereductie (in euro per woning per gebeurtenis) bij integraal ophogen met 2m, bij hoogwater met een kans van voorkomen van 1:10 per jaar (links) en 1:100 per jaar (rechts)

Stap 4: economische effectiviteit

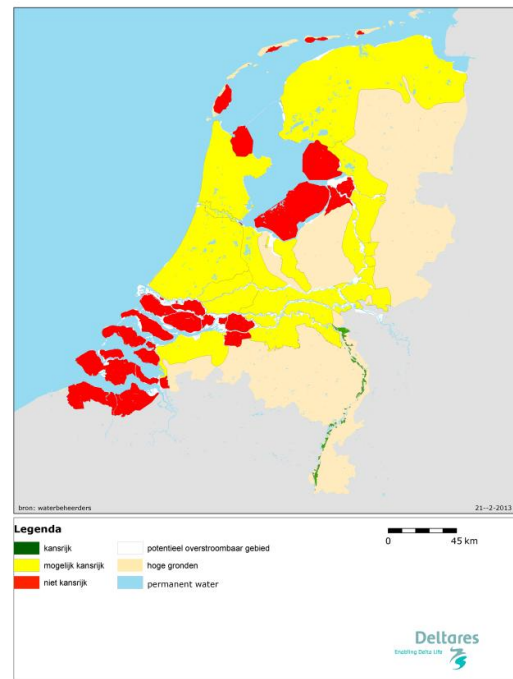
Voor de economische effectiviteit geldt dat integraal ophogen een aantrekkelijke maatregel is wanneer de overstromingskansen variëren van 1/10 tot 1/250 per jaar (ongeveer). In de huidige situatie (overstromingskansen conform 2^e referentie WV21) betekent dit dat de maatregel economisch aantrekkelijk is langs de Limburgse Maas. In de dijkringen in het bovenrivierengebied is de maatregel economisch gezien minder aantrekkelijk. De economische effectiviteit is het geringst voor de dijkringen in het benedenrivierengebied en langs de kust, doordat de overstromingskansen hier het kleinst zijn (zie Figuur 4.9.a).

Overigens kan de economische effectiviteit in een heel ander daglicht komen te staan als ook rekening wordt gehouden met overstromingen vanuit regionale wateren; die treden immers met een grotere waarschijnlijkheid op, terwijl de bereikte waterdiepten veel geringer zijn. Dan is integrale ophoging waarschijnlijk economisch veel aantrekkelijker. Figuur 4.9.b geeft een indicatie van de economische effectiviteit wanneer ook regionale wateren in beschouwing worden genomen. Dit heeft vooral effect op de kansrijkdom in dijkringen langs de kust, die worden gekenmerkt door laaggelegen polders, gescheiden door boezem wateren. Een goede kwantitatieve onderbouwing vereist de beschikbaarheid van voldoende goede overstroming simulaties. Deze komen in de loop van 2013 beschikbaar.

Indicatie kansrijkdom aangepast bouwen op basis van kosten/baten afweging, uitgaande van overstromingskansen 2e referentie WV21



Indicatie kansrijkdom aangepast bouwen op basis van kosten/baten afweging, uitgaande van overstromingen uit het hoofd- en regionaal watersysteem



Figuur 4.9 Indicatie van de economische effectiviteit van aangepast bouwen met betrekking tot overstromingen (a) uit het hoofdwatersysteem (b) uit hoofdwateren en regionale wateren.

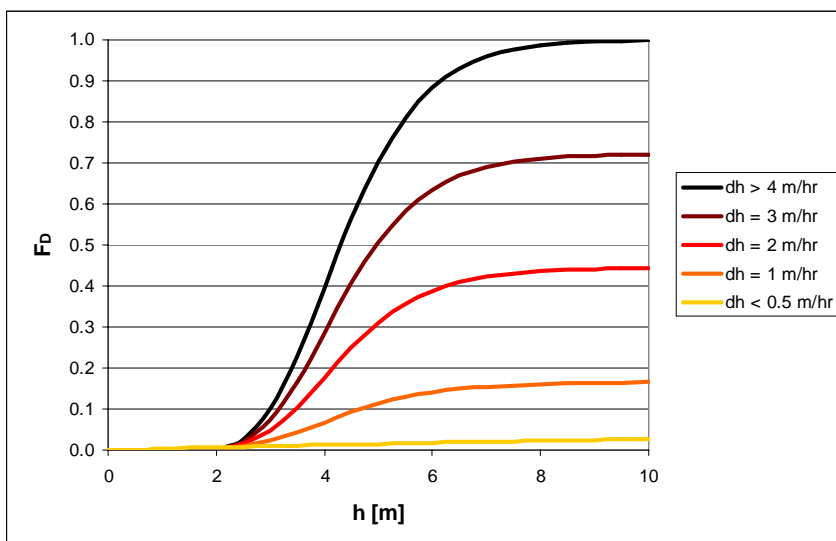
Opgemerkt wordt dat economische effectiviteit niet het enige criterium is op basis waarvan besloten kan worden om tot integrale ophoging over te gaan. Deze maatregel kan ook bijdragen aan een reductie van slachtofferrisico's, waaronder het LIR, en kan aantrekkelijk zijn om vitale infrastructuur te beschermen.

Extra stap 5: verkleinen slachtofferrisico's

Vooral als de slachtofferrisico's slechts lokaal groot zijn kan het aantrekkelijk en goedkoper zijn om gevolg beperkende maatregelen te treffen dan om de dijk te versterken. Dan kan ook ophoging worden overwogen. Hier beredeneren wij hoe het verdrinkingsgevaar (LIR) afneemt wanneer de waterdiepte bij overstroming wordt gereduceerd, bijvoorbeeld door integrale ophoging, maar ook door hierna nog te bespreken maatregelen die de plaatselijke overstromingsdiepte beperken.

Het LIR is een functie van de kans op overstroming en de kans op overlijden wanneer zich een overstroming voordoet. Deze kans op overlijden bij een overstroming wordt ook wel de mortaliteit genoemd. Het LIR is één op één gerelateerd aan de mortaliteit. Dat betekent dat een halvering van de mortaliteit resulteert in een halvering van het LIR.

De mortaliteit (F_d in Figuur 4.10) wordt berekend als functie van de waterdiepte en de stijgsnelheid. Zo is de verwachting dat bij een stijgsnelheid van 1 m/uur en een waterdiepte van 4 m ruim 5% van de mensen omkomt (Figuur 4.10).



Figuur 4.10 Mortaliteit (F_d) als functie van de stijgsnelheid en de waterdiepte

Wanneer de waterdiepte 1m kleiner is resulteert dit in een lagere mortaliteit zoals berekend in Tabel 4.1. Bij een stijgsnelheid van 1 m/uur en een afname van de waterdiepte van 4 m naar 3 m bedraagt de afname van de mortaliteit 67% (van 0.067 naar 0.022). Tabel 4.2 toont de afname van de mortaliteit (en daarmee van het LIR) wanneer de waterdiepte 2 m kleiner is.

De sterkste afname is te verwachten wanneer de stijgsnelheid groot is. Echter, ook bij een relatief geringe stijgsnelheid is een afname van het LIR te behalen van 15% tot zelfs 100%.

Tabel 4.1 Afname van de mortaliteit bij reductie van de waterdiepte met 1 m

Diepte (m)	Stijgsnelheid (m/hr)				
	<0.5	1	2	3	>4
1	100%	100%	100%	100%	100%
2	56%	56%	56%	56%	56%
3	28%	70%	86%	91%	93%
4	24%	67%	73%	75%	75%
5	19%	41%	43%	43%	44%
6	15%	20%	20%	20%	20%

Tabel 4.2 Afname van de mortaliteit bij reductie van de waterdiepte met 2 m

diepte	Stijgsnelheid (m/hr)				
	<0.5	1	2	3	>4
1	100%	100%	100%	100%	100%
2	100%	100%	100%	100%	100%
3	68%	87%	94%	96%	97%
4	46%	90%	96%	98%	98%
5	38%	81%	85%	86%	86%
6	31%	53%	54%	55%	55%

4.2.2 Dry proof bouwen

De maatregel *dry proof* bouwen is er op gericht om 'het water buiten te houden'. De maatregel is geschikt voor waterdieptes tot ongeveer 1,5 m (exacte diepte is afhankelijk van de getroffen maatregelen: tot welke hoogte is de woning waterkerend gemaakt?). Bij grotere waterdieptes loopt het water alsnog de woning in, waardoor geen sprake is van een afname van de schade. De maatregel kan ook worden toegepast bij grotere waterdieptes, maar de ramen en muren dienen in dat geval een zeer grotere waterdruk te kunnen keren, waardoor de kosten oplopen. De maatregel is geschikt voor gebieden met een overstromingsduur tot maximaal enkele weken. Deze maatregel wordt immers vooral toegepast vanuit het idee dat men in de woning kan blijven.

Stap 1: te vermijden schade

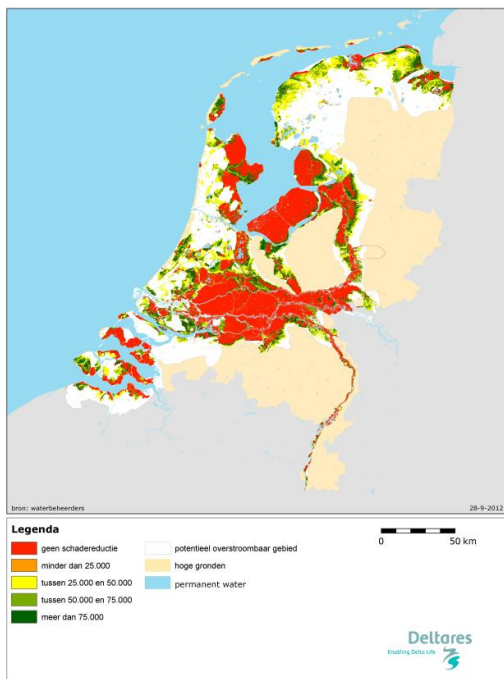
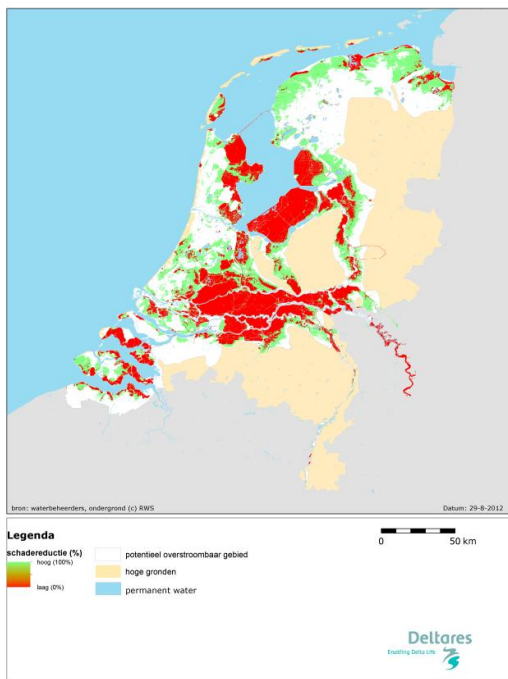
Figuur 4.11 toont de procentuele schadereductie wanneer woningen *dry proof* worden gebouwd (linker figuur). Wat opvalt, is dat in grote delen van Nederland de waterdieptes meer zijn dan 1,5m waardoor de schadereductie nul is. In gebieden met een waterdiepte van minder dan 1,5 m bedraagt de schadereductie 100%.

De rechter figuur toont de absolute vermeden schade, uitgaande van een eengezinswoning.

Ook voor deze maatregel zijn kaarten gemaakt die de schadereductie weergeven bij minder extreme hoogwaters in buitendijks gebied (kans van voorkomen 1:10 of 1:100 per jaar). Deze kaarten zijn te zien in Figuur 4.12.

Percentuele schadereductie bij overstromingen als gevolg van doorbraken in primaire keringen indien "dryproof"

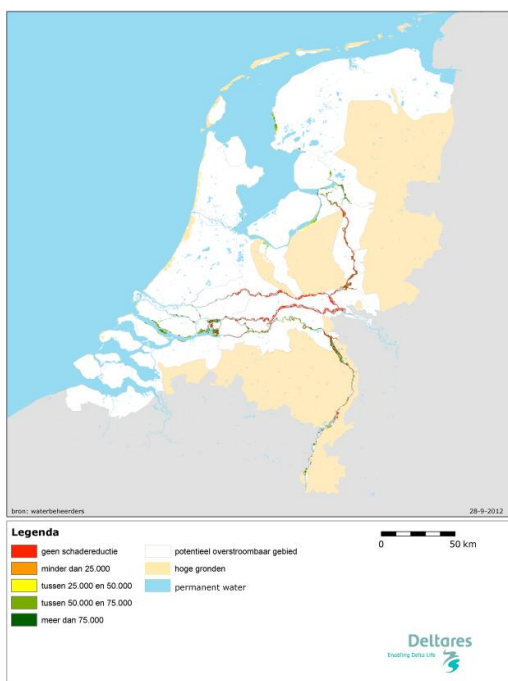
Absolute schadereductie bij overstromingen met een overschrijdskans orde grootte 1/1000 jaar en kleiner indien "dryproof bouwen" worden toegepast



Figuur 4.11 Geschatte procentuele (links) en absolute (rechts) schadereductie (in % en in euro per woning) indien woningen 'dry proof' gemaakt worden

Absolute schadereductie bij overstromingen met een overschrijdskans orde grootte 1/10 jaar indien "dryproof bouwen" worden toegepast

Absolute schadereductie bij overstromingen met een overschrijdskans orde grootte 1/100 jaar indien "dryproof bouwen" worden toegepast



Figuur 4.12 Geschatte absolute schadereductie (in euro per woning) indien woningen 'dry proof' gemaakt worden, bij hoogwaters met een kans van voorkomen van 1:10 of 1:100 per jaar



Figuur 4.13 Voorbeelden dry proof bouwen

Stap 2: beperking vanuit overstromingsduur

De maatregel is alleen geschikt voor gebieden met een overstromingsduur in de orde van dagen tot weken (gele en groene gebieden in Figuur 2.2).

Stap 3: beperking vanuit stroomsnelheid

Uit overstromingssimulaties blijkt dat stroomsnelheden van meer dan 0,5 m vooral worden overschreden:

- nabij een bres in de dijk;
- in of zeer dicht bij de hoofdgeul van een grote rivier;
- in de uiterwaarden langs de Waal en lokaal in de uiterwaarden langs de Nederrijn-Lek en IJssel.

Dit betekent dat in de meeste gebieden de stroomsnelheid geen beperking vormt voor *dry proof* bouwen.

Stap 4: economische effectiviteit

Voor een indicatie van de economische effectiviteit in de huidige situatie wordt verwezen naar Figuur 4.9.

Extra stap 5: verkleinen slachtofferrisico's

Voorals de slachtofferrisico's slechts lokaal groot zijn kunnen gevolgbeperkende maatregelen worden overwogen, waaronder ook *dry proof* bouwen. Voor de redeneerlijn wordt verwezen naar de voorgaande paragraaf.

4.2.3 *Wet proof* bouwen

Bij *wet proof* bouwen worden waterbestendige materialen gebruikt. De schade aan de woning neemt daardoor af en betreft vooral de inboedel. *Wet proof* bouwen is een geschikte maatregel voor waterdieptes tot ongeveer 1,5 m. Bij grotere waterdieptes is de vermeden schade te verwaarlozen.

Stap 1: te vermijden schade

De verwachte schadereductie is te zien in Figuur 4.14. Net als voor *dry proof* bouwen geldt ook hier dat in veel gebieden de waterdieptes zo groot zijn dat er geen schadereductie te verwachten is. In gebieden met een waterdiepte tot 1,5 m is de schadereductie niet 100%, maar in de orde van 75% omdat schade aan inboedel niet volledig wordt voorkomen.

Ook voor deze maatregel zijn kaarten gemaakt die de schadereductie weergeven bij minder extreme hoogwaters (kans van voorkomen 1:10 of 1:100 per jaar). Deze kaarten zijn te zien in Figuur 4.15.

Stap 2: beperking vanuit overstromingsduur

De maatregel is alleen geschikt voor gebieden met een overstromingsduur in de orde van dagen tot weken (gele en groene gebieden in Figuur 2.2).

Stap 3: beperking vanuit stroomsnelheid

Uit overstromingssimulaties blijkt dat stroomsnelheden van meer dan 0,5 m vooral worden overschreden:

- Nabij een bres in de dijk
- In of zeer dicht bij de hoofdgeul van een grote rivier
- In de uiterwaarden langs de Waal en lokaal in de uiterwaarden langs de Nederrijn-Lek en IJssel.

Dit betekent dat in de meeste gebieden de stroomsnelheid geen beperking oplegt voor *wet proof* bouwen.

Stap 4: economische effectiviteit

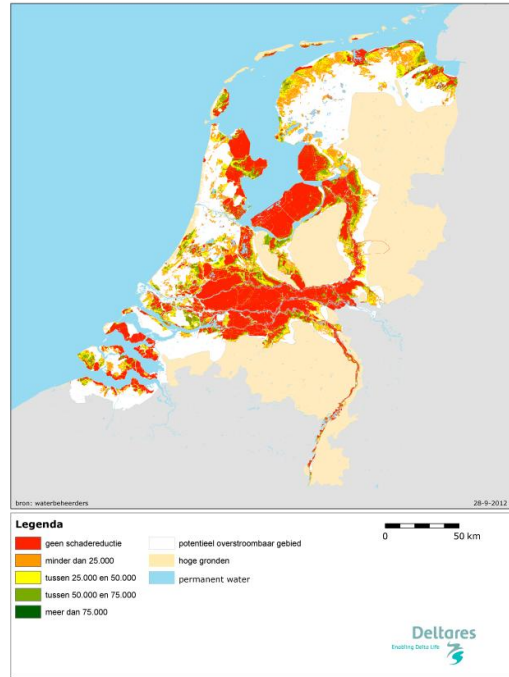
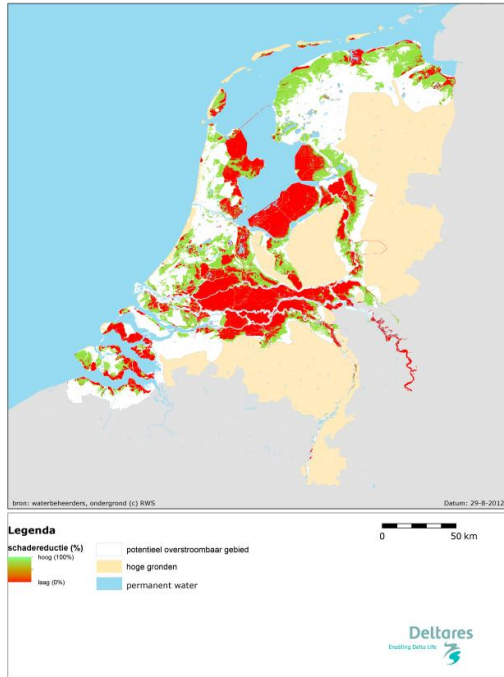
Voor een indicatie van de economische effectiviteit in de huidige situatie in relatie tot overstroming uit het hoofdwatersysteem wordt verwezen naar Figuur 4.9.

Extra stap 5: verkleinen slachtofferrisico's

Omdat bij *wet proof* bouwen het water alsnog vrij plotseling kan instromen als de waterstand boven een bepaalde grens komt of een constructie bezwijkt, wordt deze maatregel niet aanbevolen om het verdrinkingsgevaar (LIR) te verkleinen.

Percentuele schadereductie bij overstromingen als gevolg van doorbraken in primaire keringen indien 'wet proof'

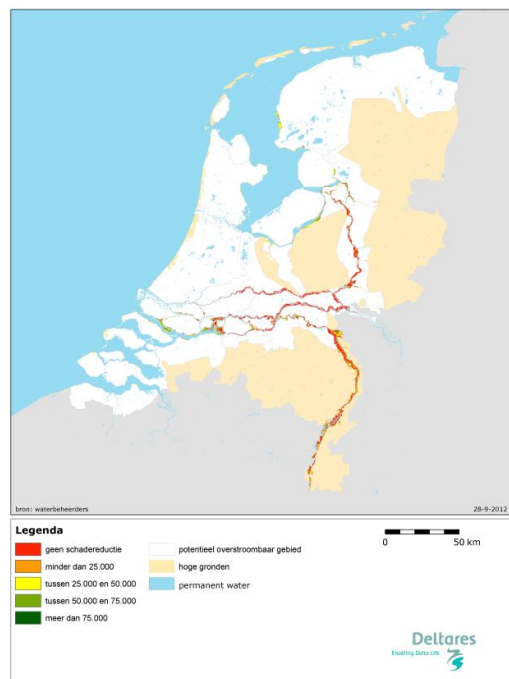
Absolute schadereductie bij overstromingen met een overschrijdingskans orde grootte 1/1000 jaar en kleiner indien 'wetproof bouwen' worden toegepast



Figuur 4.14 Geschatte procentuele (links) en absolute (rechts) schadereductie (in % en in euro per woning) indien woningen 'wet proof' gemaakt worden

Absolute schadereductie bij overstromingen met een overschrijdingskans orde grootte 1/10 jaar indien 'wetproof' worden toegepast

Absolute schadereductie bij overstromingen met een overschrijdingskans orde grootte 1/100 jaar indien 'wetproof bouwen' worden toegepast



Figuur 4.15 Geschatte absolute schadereductie (in euro per woning) indien woningen 'wet proof' gemaakt worden, bij overstromingen met een kans van voorkomen van 1:10 (links) en 1:100 per jaar (rechts)

4.2.4 Wonen op de 1^e verdieping

Bij de maatregel 'wonen op de 1^e verdieping' worden alle voorziening op de 1^e verdieping aangebracht. Dit vermindert de schade aan de woning en zorgt er ook voor dat de woning beter bewoonbaar blijft.

Stap 1: te vermijden schade

De verwachte schadereductie is te zien in Figuur 4.16. Net als voor *dry* en *wet proof* bouwen geldt ook hier dat in veel gebieden de waterdieptes zo groot kunnen worden dat er geen schadereductie te verwachten is. Omdat de kritieke waterstand hier niet 1,5 m is maar bijna 2,5 m is het gebied waar geen schadereductie te verwachten is wel kleiner.

De vermeden schade bij overstromingen met een grotere kans van voorkomen is te zien in Figuur 4.17.

Stap 2: beperking vanuit overstromingsduur

De maatregel is alleen geschikt voor gebieden met een overstromingsduur in de orde van dagen tot weken (gele en groene gebieden in Figuur 2.2).

Stap 3: beperking vanuit stroomsnelheid

Uit overstromingssimulaties blijkt dat stroomsnelheden van meer dan 0,5 m vooral worden overschreden:

- nabij een bres in de dijk;
- in of zeer dicht bij de hoofdgeul van een grote rivier;
- in de uiterwaarden langs de Waal en lokaal in de uiterwaarden langs de Nederrijn-Lek en IJssel.

Dit betekent dat in de meeste gebieden de stroomsnelheid geen beperking vormt voor deze maatregel.

Stap 4: economische effectiviteit

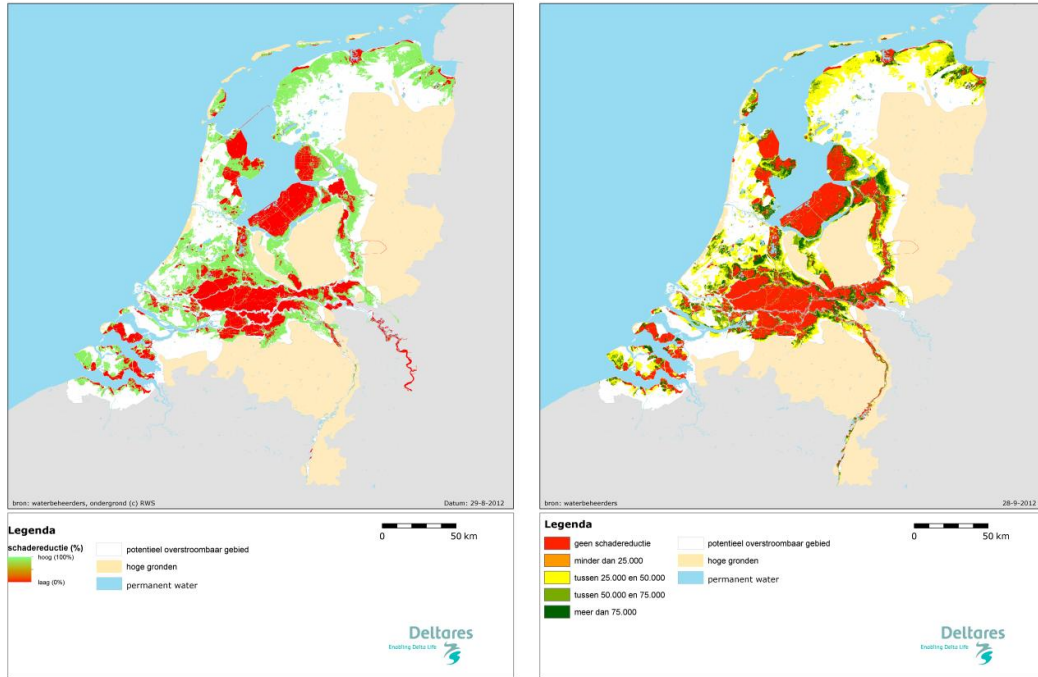
Voor een indicatie van de economische effectiviteit in de huidige situatie wordt verwezen naar Figuur 4.9.

Extra stap 5: verkleinen slachtofferrisico's

Wonen op de eerste verdieping is nauwelijks van invloed op het verdrinkingsgevaar (LIR). Om slachtofferrisico's te verkleinen is deze maatregel dan ook weinig opportuun. Wel is de aanwezigheid van een 2^e en/of 3^e bouwlaag in het algemeen effectief om 'verticale evacuatie' mogelijk te maken.

Percentuele schadereductie bij overstromingen als gevolg van doorbraken in primaire keringen indien "wonen op 1e verdieping"

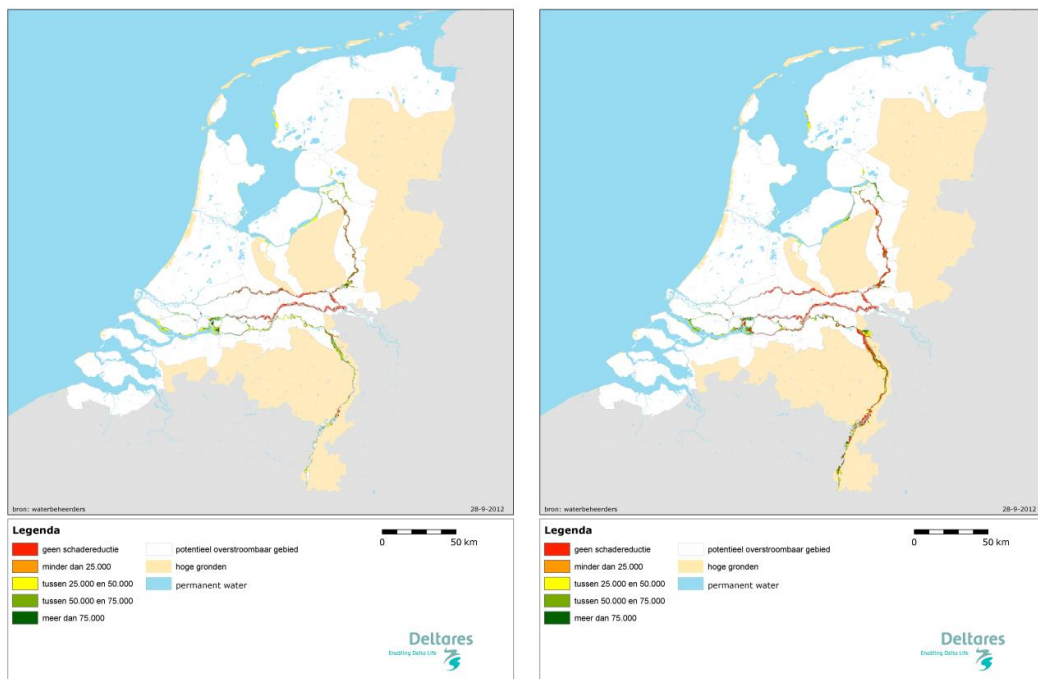
Absolute schadereductie bij overstromingen met een overschrijdskans orde grootte 1/1000 jaar en kleiner indien "wonen op de 1e verdieping" worden toegepast



Figuur 4.16 Geschatte procentuele en absolute schadereductie (in % en in euro per woning) indien woningen geschikt gemaakt worden voor wonen op de 1^o verdieping

Absolute schadereductie bij overstromingen met een overschrijdskans orde grootte 1/100 jaar indien "wonen op de 1e verdieping" worden toegepast

Absolute schadereductie bij overstromingen met een overschrijdskans orde grootte 1/100 jaar indien "wonen op 1e verdieping" worden toegepast



Figuur 4.17 Geschatte absolute schadereductie (in euro per woning) van "wonen op de 1^o verdieping", bij een overstroming met kans van voorkomen van 1:10 of 1:100 per jaar

4.2.5 Woningen met een verhoogd vloerpeil

Bij de maatregel 'woningen met een verhoogd vloerpeil' wordt aangenomen dat de begane grond zich 1 m boven het straatniveau bevindt. De maatregel heeft daarmee hetzelfde effect als ophogen met 1 meter.

Stap 1: te vermijden schade

De absolute schadevermindering (uitgedrukt in euro's per woning) is te zien in Figuur 4.18. De verschillende kaarten hebben betrekking op overstromingen met een verschillende kans van voorkomen. Wat opvalt, is dat de waterdiepte in een aantal dijkringen zo groot is dat geen reductie van de schade te verwachten valt. Het gaat hierbij om de meest benedenstroomse delen van dijkkring 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden) en dijkkring 38 (Bommelerwaard). Ook in een aantal buitendijks gelegen gebieden, waaronder de uiterwaarden langs de Waal, is de waterdiepte te groot.

Stap 2: beperking vanuit overstromingsduur

Er zijn geen beperkingen vanuit de overstromingsduur.

Stap 3: beperking vanuit stroomsnelheid

Uit overstromingssimulaties blijkt dat stroomsnelheden van meer dan 0,5 m vooral worden overschreden:

- nabij een bres in de dijk;
- in of zeer dicht bij de hoofdgeul van een grote rivier;
- in de uiterwaarden langs de Waal en lokaal in de uiterwaarden langs de Nederrijn-Lek en IJssel.

Dit betekent dat in de meeste gebieden de stroomsnelheid geen beperking vormt voor deze maatregel.

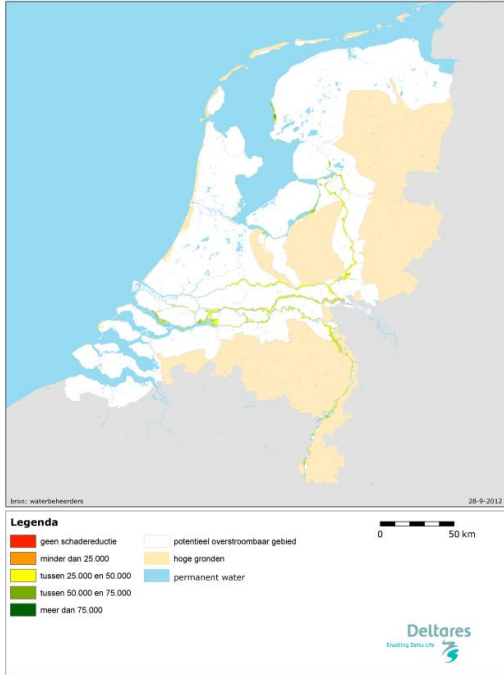
Stap 4: economische effectiviteit

Voor een indicatie van de economische effectiviteit in de huidige situatie wordt verwezen naar Figuur 4.9.

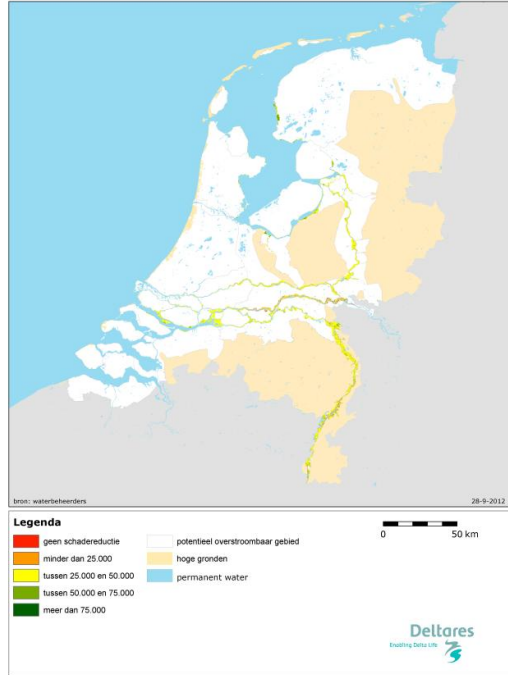
Extra stap 5: verkleinen slachtofferrisico's

Het effect van verhoging van het vloerpeil van de woning kan worden afgeleid uit de figuren en tabellen in hoofdstuk 4.2.1.

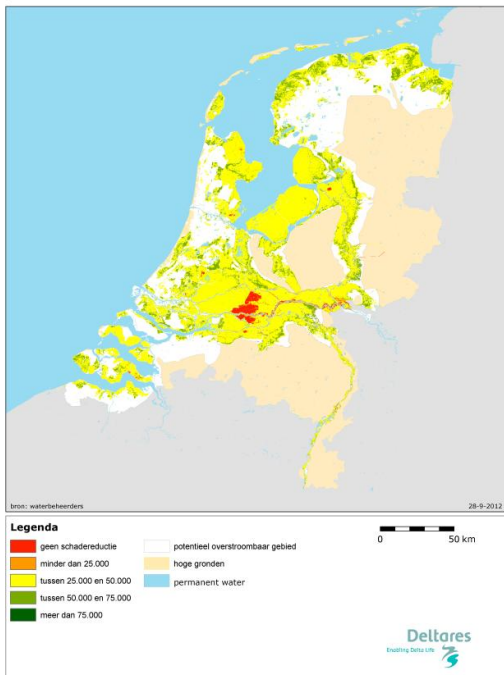
Absolute schadereductie bij overstromingen met een overschrijdskans orde grootte 1/10 jaar indien "woningen met verhoogd vloerpeil" worden toegepast



Absolute schadereductie bij overstromingen met een overschrijdskans orde grootte 1/100 jaar indien "woningen met verhoogd vloerpeil" worden toegepast



Absolute schadereductie bij overstromingen met een overschrijdskans orde grootte 1/1000 jaar en kleiner indien "woningen met verhoogd vloerpeil" worden toegepast



Figuur 4.18 Geschatte absolute schadereductie (in euro per woning) indien woningen worden gerealiseerd met een verhoogd vloerpeil, uitgaande van een overstroming met kans van voorkomen van 1:10, 1:100 of 1:1000 per jaar

5 Laag 3: rampenbeheersing

5.1 Evacuatiestrategie verbeteren

In 2012 heeft HKV in opdracht van Deltares voor DPR gekeken naar de kosten en de baten voor het verbeteren van preventieve evacuatie (Kolen & Terpstra, 2012). In het rapport wordt ingegaan op de 'huidige situatie': hoeveel procent van de inwoners kan naar verwachting op dit moment preventief worden geëvacueerd? Tevens zijn de effecten van twee 'ambitieniveaus' in beeld gebracht. Voor beide ambitieniveaus is aangenomen dat er ten eerste meer tijd beschikbaar komt voor de evacuatie en dat ten tweede de uitvoering verbetert. Dit komt door het verbeteren van de hoogwatervoorspellingen maar ook door snellere besluitvorming en uitvoering van maatregelen (betere voorbereiding). De aanname is dat de beschikbare tijd voor preventieve evacuatie met één dag (24 uur) toeneemt.

Tabel 5.1 Kenmerken ambitieniveaus verbeteren preventieve evacuatie

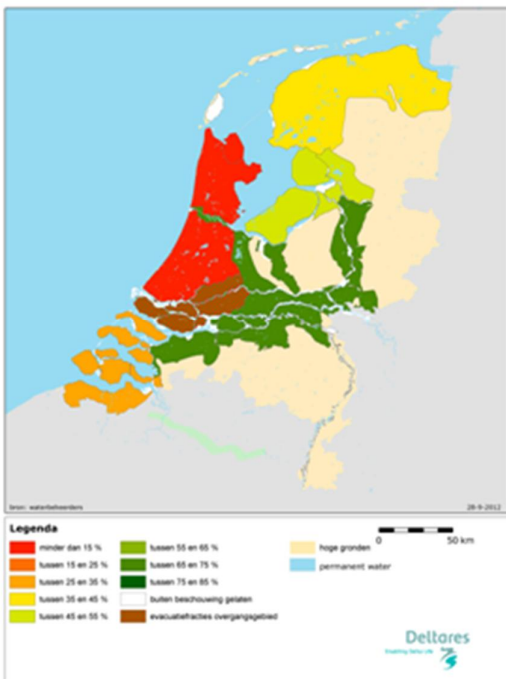
	Ambitieniveau	
	1: tussenvariant	2: best case
Toename voorspeltijd	24 uur	24 uur
Netto effect van 1 dag eerder evacueren kust	50%	100%
Netto effect van 1 dag eerder evacueren rivierengebied	100%	100%

Hoewel bij beide ambitieniveaus is aangenomen dat één dag eerder wordt begonnen met evacueren, is het effect hiervan met name voor de kust en het benedenrivierengebied, verschillend. Langs de kust betekent 'één dag eerder evacueren' dat een evacuatiebeslissing genomen wordt onder omstandigheden dat het nog relatief 'mooi weer' is. Omdat de dreiging van de storm op dat moment nog niet zo gevoeld wordt, zal de '*sense of urgency*' bij de bevolking kleiner zijn. Daarom is aangenomen dat het netto effect van 'één dag eerder evacueren' in de 'tussenvariant' (ambitieniveau 1) 50% bedraagt (zie Tabel 5.1). In de 'best case' variant bedraagt het effect 100%. In dat geval wordt de extra tijd volledig benut voor evacuatie.

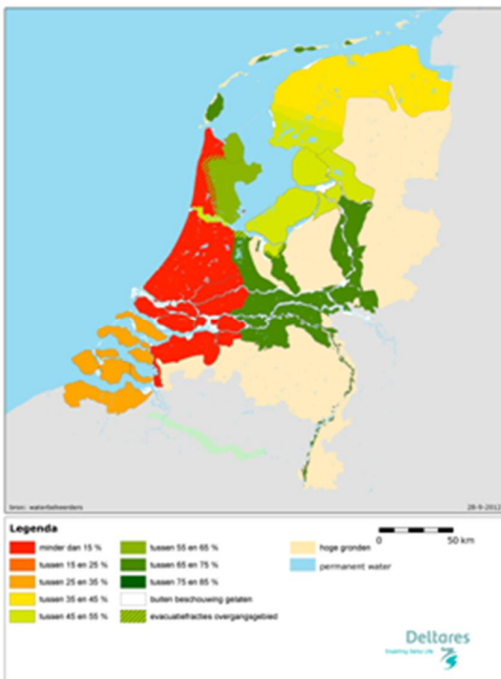
Voor het rivierengebied geldt dat hoogwater stroomopwaarts al kan worden waargenomen. De '*sense of urgency*' zal daarom naar verwachting groter zijn. Het effect van 'één dag eerder evacueren' is daarom al volledig verdisconteerd in de 'tussenvariant' (netto effect in beide varianten 100%).

De berekende evacuatiepercentages zijn te zien in Figuur 5.1 en Figuur 5.2.

Evacuatiefracties huidige situatie - op basis van Evacu-aid (HKV, 2012)

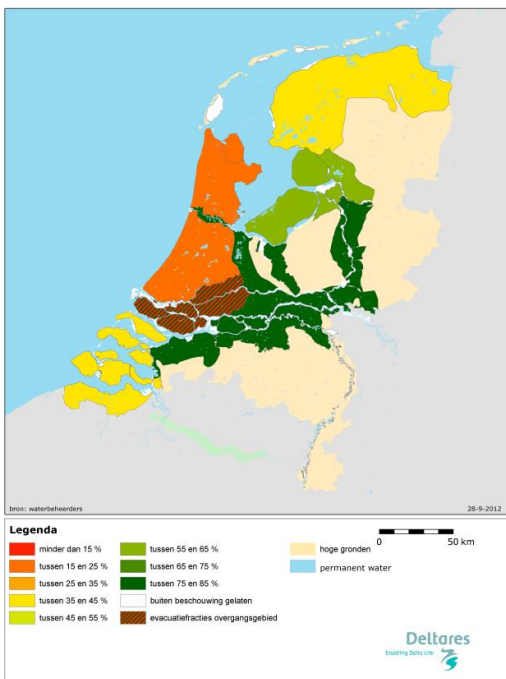


Evacuatiefracties zoals bepaald in WV21

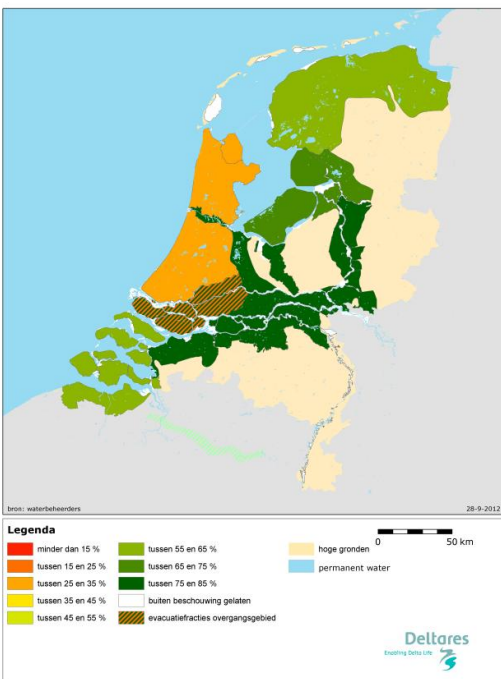


Figuur 5.1 Evacuatiepercentages zoals geschat voor de huidige situatie, links conform Kolen & Terpstra (2012) rechts zoals gebruikt in WV21 (gebaseerd op dezelfde analyses)

Evacuatiefracties ambitieniveau 1 - op basis van de tussenvariant (HKV, 2012)



Evacuatiefracties ambitieniveau 2 - op basis van de best case (HKV, 2012)



Figuur 5.2 Evacuatiepercentages met verbeterde rampenbeheersing (ambitieniveau 1 (links) en 2 (rechts))

6 Enkele tussentijdse reflecties bij de kansrijkdomkaarten

6.1 Economische effectiviteit?

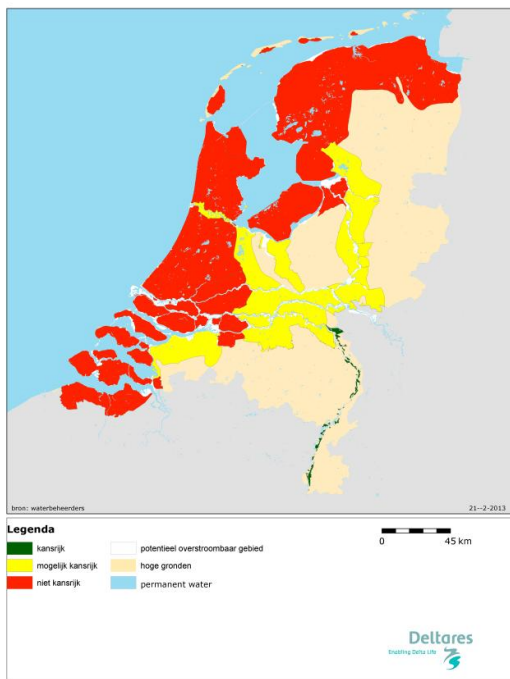
Bij het bepalen van de kansrijkdom van maatregelen is allereerst gekeken naar de doeltreffendheid (leidt implementatie van de maatregel tot een afname van het overstromingsrisico), maar vrij snel daarna naar de kosten-effectiviteit (kan de implementatie van een maatregel economisch gezien uit?). Omdat gevolgbeperkende maatregelen soms duur zijn en alleen effectief voor de nieuwe en/of herontwikkelingslocaties – en niet voor bestaande bebouwing –, zijn ze vaak alleen economisch rendabel in gebieden waar de kans op overstromen relatief groot is. Maatregelen in laag 2 kunnen daardoor vanuit 'economisch oogpunt' moeilijk 'concurreren' met die in laag 1, waar de marginale kosten van dijkverhoging ook *alle bestaande* bebouwd gebieden beter beschermen. Daarom kan het relevant zijn principieel onderscheid te maken naar 'reparatie van achterstallige bescherming' versus 'het voorkomen van verdere toename van kwetsbaarheid' voor overstromingen.

Ten tweede kunnen er argumenten zijn om in laag 2 en 3 maatregelen te nemen die niet zozeer economisch zijn, maar veel meer te maken hebben met de beheersbaarheid van crisissituaties en de wens maatschappelijke ontwrichting of zeer grote consequenties – zoals veel slachtoffers ineens – te voorkomen. Ofwel: **maatregelen uit laag 2 en 3 kunnen aantrekkelijk zijn om maatschappelijke ontwrichting (grote aantallen slachtoffers ineens, of het uitvallen van vitale functies) te voorkomen, zelfs als de maatregelen economisch gezien niet rendabel zijn.**

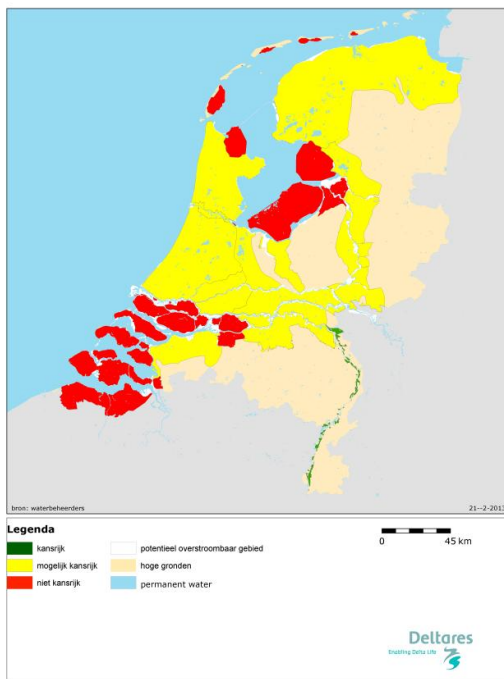
De minimaal benodigde overstromingskans om aangepast bouwen rendabel te maken varieert met de waterdiepte en ook per type maatregel. Voor aangepast bouwen varieert de minimaal benodigde overstromingskans van ongeveer 1/100 tot 1/500 per jaar. Dit impliceert dat **aangepast bouwen in ieder geval aantrekkelijk is in veel buitendijkse gebieden**. Dit is zeker het geval wanneer de overstromingsfrequentie in de toekomst toeneemt als gevolg van klimaatverandering. Laag 2 maatregelen kunnen op het moment ook economisch aantrekkelijk zijn in delen van het riviereengebied (overstromingskans 1/125 tot 1/500). In de overige dijkkringen is de overstromingskans vanuit het hoofdwatersysteem te klein (kleiner dan 1/1000 per jaar).

Overstromingen vanuit het regionale watersysteem zijn in deze studie buiten beschouwing gelaten omdat daar op het moment van schrijven nog geen landsdekkende informatie voor beschikbaar was. Verwacht wordt dat de economische rentabiliteit van gevolgbeperkende maatregelen in sommige gebieden veel groter kan zijn als ook met dergelijke overstromingen rekening wordt gehouden. Veel boezemkades hebben immers een beschermingsnorm in de orde van 1/100 per jaar. Het verwachte effect van het meenemen van overstromingsrisico uit het regionale watersysteem is nogmaals aangegeven op onderstaande figuur.

Indicatie kansrijkdom aangepast bouwen op basis van kosten/baten afweging, uitgaande van overstromingskansen 2e referentie WV21



Indicatie kansrijkdom aangepast bouwen op basis van kosten/baten afweging, uitgaande van overstromingen uit het hoofd- en regionaal watersysteem



Figuur 6.1 Indicatie van de economische effectiviteit van aangepast bouwen met betrekking tot overstromingen (a) uit het hoofdwatersysteem (b) uit hoofdwateren en regionale wateren.

6.2 Uitwisselbaarheid lagen?

In 2012 is door DPV en DPNH aan de regionale deelprogramma's gevraagd om na te gaan of gevolg beperkende maatregelen (uit laag 2 en 3) uitwisselbaar zijn met verkleining van de overstromingskans (laag 1). Dit diende vooral te worden nagegaan voor gebieden waar op basis van de MKBA uit WV21 werd geconcludeerd dat aanscherping van de beschermingsnorm opportuun zou zijn. Onderstaande tekstbox geeft aan waarom de mogelijkheden voor uitwisseling tussen de lagen gering is in gebieden waar normaanscherping economisch gezien aantrekkelijk is. Het betreft twee dijkringen die identiek zijn qua omvang en qua kosten voor dijkversterking.

	
<ul style="list-style-type: none"> • Geringe schade → geringe baat • Geen normaanscherping WV21 (kosten dijkversterking wegen niet op tegen baten) • Geen aandachtsgebied • Echter, tegen geringe kosten is “de enige” boerderij waterrobuust te bouwen • Effectiviteit tov andere maatregelen hoog • Uitwisselbaarheid hoog! 	<ul style="list-style-type: none"> • Veel schade → grote baat • Wel normaanscherping WV21 (baten vele malen groter dan kosten dijkversterking) • Aandachtsgebied • Echter, zeer hoge kosten om alle gebouwen waterrobuust te maken • Effectiviteit tov andere maatregelen laag • Uitwisselbaarheid laag!

In gebieden waar sprake is van normaanscherping vanuit de optiek van basisveiligheid (LIR), kan uitwisseling met maatregelen in laag 2 en 3 wel aantrekkelijk zijn. In veel dijkringen wordt het LIR immers slechts lokaal overschreden. In plaats van de dijken langs de gehele dijkkring te versterken kan het economisch aantrekkelijk zijn om lokale maatregelen te treffen, zoals ophogen van een woonwijk of losstaande bebouwing, compartimentering of een verbeterd evacuatieplan. Wanneer het LIR vooral wordt overschreden in gebieden waar op dit moment bijna geen bebouwing aanwezig is, kan worden overwogen om de dijken niet te versterken, maar in het bestemmingsplan en in de structuurvisie van de provincie op te nemen dat op deze locaties niet gebouwd mag worden.

Tot slot wordt opgemerkt dat de economische effectiviteit van maatregelen toe kan nemen wanneer maatregelen worden meegekoppeld met andere ruimtelijke ontwikkelingen. De ‘muziek’ van waterrobuuste inrichting zit bij inbedding ervan in een breder verband van stedelijke ontwikkeling of gebiedsontwikkeling.

7 Bevindingen per regio

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk bekijken we de kaarten met een 'regionale' bril. We gaan in op vragen als:

- Wat voor conclusies kunnen getrokken worden met betrekking tot de kansrijkdom voor aangepast bouwen langs de Rijntakken?
- Betekent een witte vlek op de kaart (bijv. in grote delen van de buitendijkse gebieden bij Rotterdam) dat maatregelen uit laag 2 en 3 niet effectief zijn?
- En hoe zit het met meekoppelkansen als ook het regionale watersysteem in beschouwing wordt genomen? Biedt dat in sommige regio's perspectief?

Bij de indeling in regio's sluiten we aan bij de regionale deelprogramma's van het Deltaprogramma. Daarbij hebben we kust geïnterpreteerd als Hollandse Kust (dijkkringen 13 en 14). Binnen de regio's *zoomen* we, waar nodig, verder in.

Per (sub)regio bespreken we de kansen voor implementatie van de verschillende maatregelen zoals zij ook in de voorgaande hoofdstukken besproken zijn.

7.2 Rivierengebied

7.2.1 Deltadijken

In het rivierengebied lijkt de aanleg van een deltdijk om het **slachtofferisico** te verkleinen te overwegen op de volgende locaties (zie Figuur 3.1):

- Dijkkring 15 (Lopiker- en Krimpenerwaard), langs de Lek;
- Dijkkring 16 (Alblasserwaard en Vijfheerenlanden), zowel langs de Lek als langs de Boven en Beneden Merwede;
- Dijkkring 22 (Eiland van Dordrecht), langs het Wantij t/m de Kop van het Land (mogelijk heeft de Voorstraat al veel weg van een Deltadijk);
- Dijkkring 35 (Donge), het oostelijk deel langs de Bergsche Maas, ten noorden van Waalwijk;
- Dijkkring 45 (Gelderse Vallei), langs de Nederrijn.

Met het oog op **stroomoverstrooming** valt een 'praktisch doorbraakvrije' dijk te overwegen op een aantal locaties langs de Boven-Rijn, de Waal en de Lek. De MKBA uit WV21 resulteerde voor deze dijkkringen in een relatief scherpe norm doordat de 'extra' schade is meegenomen die op zou kunnen treden wanneer water doorstroomt naar de IJssel of de Maas. Omdat alleen beperking van het instroomvolume het primaire doel is van deltdiijken op deze locaties, kan worden overwogen de dijken minder hoog te maken. Ze mogen immers best overstromen, zolang er maar geen bressen ontstaan. Een lagere dijk heeft als voordeel dat niet/minder wordt afgewenteld op de tegenovergelegen dijkkring. Een overstroombare dijk om de instroom te beperken kan worden overwogen langs:

- De Boven-Rijn bij dijkkring 48 (Rijn en IJssel);
- De Waal bij dijkkring 41 (Land van Maas en Waal), 40 (Heerewaarden) en 38 (Bommelerwaard).
- De Lek bij dijkkring 44 (Kromme Rijn) en 15 (Krimpener- en Lopikerwaard) tot ruwweg Bergambacht

7.2.2 Compartimentering

In de compartimenteringsstudie (Asselman et al., 2008; Ter Maat et al., 2008) is vastgesteld dat alleen compartimentering van de Betuwe bij de toen aangenomen overstromingskansen (gelijk aan wettelijk beschermingsniveau) vanuit economisch oogpunt aantrekkelijk was. Met de nieuwe inzichten betreffende de feitelijke huidige overstromingskansen kan compartimentering in veel meer dijkkringen in het rivierengebied economisch aantrekkelijk zijn. En vanuit andere argumenten (voorkomen slachtoffers) kan het eveneens wenselijk zijn. Ook kan worden gedacht aan (lagere) geleidedijken die het water langs bebouwde kernen leiden of zoveel vertraging opleveren dat veel meer levens gered kunnen worden dan zonder zulke 'vertragers'.

Men kan denken aan:

- Betuwe (dijkring 43; bij Amsterdam-Rijnkanaal, maar ook bij Gorinchem-oost);
- Land van Heusden de Maaskant (36; Oss en/of Den Bosch);
- Beide zijden van het IJsseldal: 52 en 53 (ter hoogte van de A 1 bij Deventer; Zwolle extra beschermen);
- Dijkring 44, waar Utrecht en delen van Amsterdam in liggen.

7.2.3 Uitlaatwerk

De aanleg van een uitlaatwerk is vooral effectief in hellende dijkkringen, dit is in veel dijkkringen in het rivierengebied het geval. Een uitlaatwerk zorgt er voor dat de waterstand in het overstroomde gebied lager blijft. Dit leidt tot een afname van de schade, maar ook tot een kleinere kans op overlijden. Voor het kaartbeeld wordt verwezen naar hoofdstuk 0.

7.2.4 Elders bouwen

In gebieden met een hoog Lokaal Individueel Risico (LIR) of een hoog Lokaal Schade Gevaar (LSG), zou men zich in het geval van nieuwbouw af moeten vragen of 'elders bouwen' een optie is. Kijkend naar de LIR-kaart valt op dat, bij de huidige overstromingskansen, bijna het hele centrale rivierengebied gekenmerkt wordt door relatief hoge waarden voor het LIR en het LSG. Dit komt deels door de relatief grote waterdieptes, maar ook door de relatief grote overstromingskansen (ongeveer 1:125 tot 1:500 per jaar).

Locaties met een LIR groter dan 10^{-5} zijn:

- Lokaal in de Alblasserwaard (dijkring 16);
- Meest benedenstroomse deel van de Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (dijkring 43);
- Meest benedenstroomse deel van het Land van Maas en Waal (dijkring 41);
- Lokaal in het meest benedenstroomse deel van de Bommelerwaard (dijkring 39);
- Geertruidenberg (dijkring 34a);
- Meest zuidwestelijke deel van Rijn en IJssel (dijkring 48);
- Op een aantal locaties (kleine gebiedjes) in Oost Veluwe (dijkring 52).

Kijkend naar de LSG-kaart verdienen naast bovenstaande gebieden ook de volgende locaties extra aandacht:

- Dijkring 9 (Vollenhove);
- Dijkring 36 (Land van Heusden, de Maaskant), omgeving van Den Bosch;
- Dijkring 42 (Ooij en Millingen);

- Dijkkring 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden), niet alleen het meest westelijke deel, maar ook het meer centraal gelegen deel;
- Een aantal dijkkringen langs de Limburgse Maas.

7.2.5 Anders bouwen

Integraal ophogen

Integraal ophogen is in bijna het gehele rivierengebied een aantrekkelijke maatregel. De enige gebieden waarbij zelfs bij 2 m ophogen geen reductie van de schade te verwachten is zijn:

- Benedenstroomse deel van dijkkring 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden);
- Lokaal in het benedenstroomse deel van dijkkring 39 (Bommelerwaard);
- Laaggelegen zones (oude geulen) in dijkkring 48 (Rijn en IJssel);
- Uiterwaarden langs de Waal.

Wanneer als gevolg van klimaatverandering de buitenwaterstand hoger wordt, dan zal dit binnendijks tot iets groter waterdieptes leiden. De maatregel is echter niet erg gevoelig voor een verandering in waterdiepte. Qua economische haalbaarheid geldt wel dat bij een kleinere overstromingskans (bijvoorbeeld bij normaanscherping), de kosten van de maatregel niet langer opwegen tegen de baten. Wanneer de maatregel wordt ingezet met als primair doel het verkleinen van de kans op slachtoffers (bijv. in gebieden met een hoog LIR), dan spelen deze economische overwegingen een minder belangrijke rol.

Indien wordt opgehoogd met slechts 1 m, is een geringere afname van de schade te verwachten en zijn de gebieden zonder schadereductie iets omvangrijker.

Bouwen op palen

Deze maatregel is qua schadereductie vergelijkbaar met integraal ophogen (zie hierboven)

Verhoogd vloerpeil

Wanneer woningen worden gebouwd met een verhoogd vloerpeil heeft dit qua schadereductie hetzelfde effect als integrale ophoging. Bij het maken van de kansrijkdomkaarten is aangenomen dat het vloerpeil met 1 m wordt verhoogd. De schadereductie is in dat geval gelijk aan de schadereductie bij ophoging met 1 m (zie paragraaf over integraal ophogen).

Dry proof bouwen

Wanneer woningen *dry proof* worden aangelegd, betekent dit dat de muren, deuren en ramen waterkerend zijn. Hoewel deze maatregel ook bij grote waterdieptes toegepast kan worden, vindt de meeste toepassing plaats bij overstromingen die alleen de begane grond treffen. Bij grotere waterdieptes lopen de kosten op (een groter oppervlak aan ramen, deuren en muren moet waterkerend zijn, en deze moeten bovendien grotere krachten aankunnen i.v.m. een toenemende waterdruk). In deze studie is uitgegaan van een maximale waterkerende hoogte van 1,5 m. In dat geval leidt de maatregel slechts in een beperkt aantal gebieden tot schadereductie. Dit zijn:

- Dijkkring 44 en 45 aan de noordkant van de Nederrijn/Lek (Kromme Rijn en Gelderse Vallei);
- Het meest bovenstroomse deel van dijkkring 41 (Land van Maas en Waal), tegen de stuwwal aan;

- Het meest bovenstrooms gelegen deel van dijkkring 36, evenals gebieden grenzend aan de hogere zandgronden (Oss, zuidkant Den Bosch, etc.)
- Het bovenstrooms gelegen deel van dijkkring 48 (Rijn & IJssel);
- Tegen de hogere gronden aan in het gehele IJsseldal
- Plaatselijk langs de Limburgse Maas.

De effectiviteit van deze maatregel is zeer gevoelig voor een verandering in de waterdiepte. Wanneer het klimaat verandert en de waterstanden op de rivier hoger zouden worden, kan dit leiden tot een grotere waterdiepte bij overstroming. Dit betekent dat in sommige gebieden waar in de huidige situatie wel sprake is van schadereductie, bij klimaatverandering geen sprake meer zal zijn van schadereductie. Dit betreft vooral gebieden die nu groen of geel gekleurd zijn op de kaart, maar die grenzen aan een gebied met een rode kleur. In deze gebieden bedraagt de verwachte waterdiepte nu minder dan 1,5 m maar kan de waterdiepte als gevolg van klimaatverandering toenemen tot meer dan 1,5 m. Het water stroomt dan als nog de woning binnen, waardoor er geen schadevermindering zal zijn.

Wet proof bouwen

Bij *wet proof* bouwen treedt minder schade op aan de woning omdat andere materialen zijn gebruikt en voorzieningen in de woning zijn aangepast (meterkast en stopcontacten zitten bijv. op grotere hoogte). Omdat schade aan inboedel niet wordt vermeden is de schadereductie minder dan bij *dry proof* bouwen. Voor de overige conclusies qua toepasbaarheid van de maatregel wordt verwezen naar *dry proof* bouwen.

Wonen op de eerste verdieping

Bij deze maatregel is aangenomen dat belangrijke voorzieningen zijn aangebracht op de 1^e verdieping en dat ook het belangrijkste deel van de inboedel zich op een hogere verdieping bevindt. De begane grond wordt zodanig gebruikt dat deze minder gevoelig is voor overstroming en dus tot minder schade leidt.

Deze maatregel is alleen rendabel wanneer de overstromingskans groter is dan 1:100 a 1:250. In de dijkringen is dit alleen het geval wanneer de dijken niet worden versterkt. Verder is deze maatregel alleen geschikt in gebieden waar de waterdiepte minder dan 2,5 m bedraagt (alleen de begane grond wordt nat). In het rivierengebied is dat vooral het geval in:

- Dijkkring 44 en 45 aan de noordkant van de Nederrijn/Lek (Kromme Rijn en Gelderse Vallei);
- Het oostelijke deel van dijkkring 15 (Lopiker en Krimpenerwaard), nabij Nieuwegein;
- Lokaal in het meest bovenstroomse deel van dijkkring 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden) en nabij Tiel;
- De oostelijke helft van dijkkring 41 (Land van Maas en Waal);
- Grote delen van dijkkring 36;
- Het bovenstrooms gelegen deel van dijkkring 48 (Rijn & IJssel);
- Het zuidelijke deel van het IJsseldal, evenals de tegen de hogere gronden aan gelegen delen in het noorden van het IJsseldal;
- Langs de Limburgse Maas.

7.2.6 Evacuatie

Op basis van analyses met een evacuatiemodel wordt verwacht dat het verbeteren van de organisatorische voorbereiding van preventieve evacuatie in het rivierengebied kan leiden tot een verhoging van het evacuatiepercentage van 75% tot ongeveer 82%.

7.2.7 Overige overwegingen

Economische effectiviteit

Economisch gezien kan aangepast bouwen alleen uit in gebieden waar de overstromingskans groter is dan orde 1:250 per jaar. Dit zijn doorgaans de onbedijkte gebieden. Wanneer men de dijken niet zou versterken en/of de overstromingskans als gevolg van klimaatverandering toe neemt, wordt aangepast bouwen in het rivierengebied economisch gezien, ook in bedijkte gebieden aantrekkelijker.

Slachtofferrisico's

Gevolgbeperkende maatregelen kunnen ook worden overwogen om het slachtofferrisico te reduceren. Een maatregel in laag 2 of 3 kan in dat geval aantrekkelijker zijn dan het versterken van de primaire waterkering. Omdat het LIR veelal hoog is in gebieden met een grote waterdiepte dient vooral te worden gekeken naar de maatregel 'elders bouwen'.

Klimaatverandering

Klimaatverandering beïnvloedt niet alleen de overstromingskans, maar kan ook tot grotere waterdiepten en een groter overstroomd areaal bij overstromen leiden indien voor dijkverhoging zou worden gekozen. Klijn et al. (2012) wijzen erop dat rivierverruiming dit effect op de waterdiepte en uitgebreidheid van overstromingen kan voorkomen. In gebieden waar de waterdiepte nu nog net perspectieven biedt voor bijv. *dry proof* of *wet proof* bouwen, bestaat de kans dat dit over een aantal decennia niet meer het geval is, omdat de kritieke waterdiepte waarbij nog sprake is van schadereductie dan wordt overschreden. Maatregelen die gevoelig zijn voor veranderingen in waterdiepte zijn o.a. *wet proof* en *dry proof* bouwen en wonen op de 1^e verdieping. Integraal ophogen is in dat opzicht een robuustere maatregel.

7.3 Rijnmond-Drechtsteden

7.3.1 Deltadijken

In het gebied van Rijnmond-Drechtsteden lijkt de aanleg van een deltdijk om het slachtofferrisico te verkleinen te overwegen op de volgende locaties (zie Figuur 3.1):

- Dijkkring 15 (Lopiker- en Krimpenerwaard), langs de Lek;
- Dijkkring 16 (Alblasserwaard en Vijfheerenlanden), zowel langs de Lek als langs de Boven en Beneden Merwede;
- Dijkkring 17 (IJsselmonde), het oostelijke deel langs de Nieuwe Maas;
- Dijkkring 18 (Pernis), rondom;
- Dijkkring 20 (Voorne-Putten), langs het oostelijk deel van het Hartelkanaal en de Oude Maas;
- Dijkkring 22 (Eiland van Dordrecht), langs het Wantij t/m de Kop van het Land (mogelijk heeft de Voorstraat al veel weg van een Deltadijk).

7.3.2 Compartimentering

Veel dijkeringen in dit gebied zijn al sterk gecompartmenteerd door boezemkades en/of oude dijken. Uit overstromingssimulaties blijkt dat deze bestaande compartimentering zeer effectief bijdraagt aan het beperken van het overstroomd oppervlak en daarmee op het beperken van schade en slachtoffers. Overwogen kan worden om één of meer van deze keringen aan te wijzen als compartimenteringskering. In dat geval dient nagegaan te worden of de standzekerheid van de kering voldoende is. Daarnaast dient te worden nagegaan of de keringen bij een hogere zeestand niet te laag zijn. Dit geldt ook voor reeds bestaande compartimenteringskeringen. Zo is de hoogte van de compartimenteringsdijk bij Capelle a/d IJssel (Kralingse Veer) zo ontworpen dat deze tijdens de stormvloed (dus gedurende een beperkt aantal uren) overstroomt, maar onder 'normale' omstandigheden het water keert. Wanneer de buitenwaterstand in de toekomst toeneemt, dient te worden nagegaan of dit nog steeds het geval is.

Een aantal dijkeringen in het gebied Rijnmond-Drechtsteden is op dit moment niet gecompartmenteerd. Dit zijn onder meer dijkkring 15 (Lopiker- en Krimpenerwaard), en 16 (Alblasserwaard). Compartimentering lijkt in deze dijkeringen geen aantrekkelijke maatregel omdat (1) de compartimenteringsdijken erg hoog moeten zijn om het water te keren (orde 5 m boven het omringende maaiveld) en (2) de dijken erg gevoelig zullen zijn voor zetting (hoge onderhoudskosten i.v.m. 'slappe' ondergrond).

Geconcludeerd wordt dat er op dit moment niet direct aanleiding lijkt te zijn voor aanvullende compartimentering. De bestaande compartimentering (compartimenteringsdijken, maar ook boezemkades en voormalige waterkeringen) vraagt echter wel aandacht (standzekerheid nu en in de toekomst).

7.3.3 Uitlaatwerk

De aanleg van een uitlaatwerk is vooral effectief in hellende dijkeringen. Die komen in het gebied van Rijnmond-Drechtsteden alleen voor in het overgangsgebied, waar de rivieren nog een belangrijke rol spelen. Te denken valt dan aan dijkkring 15 (Scheiland en de Krimpenerwaard) en dijkkring 16 (Alblasserwaard). Een uitlaatwerk zorgt er voor dat de waterstand in het overstroomde gebied lager blijft. Dit leidt tot een afname van de schade, maar ook tot een kleinere kans op overlijden. Voor het kaartbeeld wordt verwezen naar hoofdstuk 0.

7.3.4 Elders bouwen

In gebieden met een groot Lokaal Individueel Risico (LIR) of een groot Lokaal Schade Gevaar (LSG), zou men zich in het geval van nieuwbouw af moeten vragen of 'elders bouwen' een optie is. Bij de huidige overstromingskansen is het LIR slechts op een klein aantal plaatsen groter dan 10^{-5} , namelijk:

- Ten westen van Capelle a/d IJssel (Kralingse Veer in Centraal Holland, dijkkring 14);
- Lokaal in de Alblasserwaard (dijkkring 16);
- Lokaal in IJsselmonde (dijkkring 17);
- Pernis (dijkkring 18);
- Lokaal op het Eiland van Dordrecht (dijkkring 22);
- Geertruidenberg (dijkkring 34a).

De hoogste LSG-waarden komen voor in:

- Krimpener- en Lopikerwaard (dijkkring 15);
- Alblasserwaard (dijkkring 16).

De waarden zijn hier echter lager dan in het bovenrivierengebied, doordat de huidige overstromingskansen voor dijkkring 15 en 16 kleiner zijn dan die elders in het rivierengebied.

7.3.5 Anders bouwen

Integraal ophogen

Integraal ophogen is in het hele gebied van DPRD een aantrekkelijke maatregel: bij ophoging met 1 tot 2 m is overall een afname van de schade te verwachten.

Wanneer als gevolg van klimaatverandering de buitenwaterstand hoger wordt, dan zal dit binnendijks tot iets groter waterdieptes leiden. De maatregel is echter niet erg gevoelig voor een verandering in waterdiepte.

Qua economische haalbaarheid geldt wel dat bij de huidige overstromingskansen, de kosten van de maatregel in de binnendijkse gebieden, niet opwegen tegen de baten. Wanneer de maatregel echter wordt ingezet met als primair doel het verkleinen van de kans op slachtoffers, dan spelen deze economische overwegingen een minder belangrijke rol.

In buitendijkse gebieden die frequent overstromen (overstromingskans orde 1:10 tot 1:250 per jaar) is de maatregel nu al economisch interessant. Maar veel buitendijkse gebieden zijn op de kaart wit gebleven. Dit komt doordat deze gebieden onder de huidige maatgevende omstandigheden niet overstromen. Ze zijn 'hoogwatervrij' aangelegd. Wanneer het klimaat verandert en de hoogwaterstanden stijgen, zullen deze gebieden mogelijk wel overstromen. De waterdiepte zal dan gering zijn. Dit betekent dat schade gemakkelijk vermeden kan worden door het gebied op te hogen.

Bouwen op palen

Deze maatregel is qua schadereductie vergelijkbaar met integraal ophogen (zie hier boven)

Verhoogd vloerpeil

Wanneer woningen worden gebouwd met een verhoogd vloerpeil heeft dit qua schadereductie hetzelfde effect als integrale ophoging. Bij het maken van de kansrijkdomkaarten is aangenomen dat het vloerpeil met 1 m wordt verhoogd. De schadereductie is in dat geval gelijk aan de schadereductie bij ophoging met 1 m (zie verder de paragraaf over integraal ophogen).

Dry proof bouwen

Wanneer woningen *dry proof* worden aangelegd, betekent dit dat de muren, deuren en ramen waterkerend zijn. Hoewel deze maatregel ook bij grote waterdieptes toegepast kan worden, vindt de meeste toepassing plaats bij overstromingen die alleen de begane grond treffen. Bij grotere waterdieptes lopen de kosten op (een groter oppervlak aan ramen, deuren en muren moet waterkerend zijn, en deze moeten bovendien grotere krachten aankunnen i.v.m. een toenemende waterdruk). In deze studie is uitgegaan van een waterkerende hoogte van 1,5 m. In dat geval leidt de maatregel slechts in een beperkt aantal gebieden tot schadereductie. Dit zijn:

- Minder diepgelegen polders in dijkkring 14 (Centraal Holland), evenals de kustzone in deze dijkkring;
- Grote delen van dijkkring 17 (IJsselmonde), 20 (Voorne-Putten) en 21 (Hoekse Waard).
- Het zuidelijk deel van dijkkring 22 (Eiland van Dordrecht)
- Het westen van dijkkring 24 (Land van Altena)
- Delen van dijkkring 25 (Goeree-Overflakkee) en 34 (West Brabant)
- In veel buitendijkse gebieden (ook in gebieden die nu nog hoogwatervrij zijn).

De effectiviteit van deze maatregel is zeer gevoelig voor een verandering in de waterdiepte. Wanneer het klimaat verandert en de waterstand langs de kust of op de rivieren toeneemt, zal dit leiden tot een grotere waterdiepte bij overstroming. Dit betekent dat in sommige gebieden waar in de huidige situatie wel sprake is van schadereductie, bij klimaatverandering geen sprake meer zal zijn van schadereductie. Dit betreft vooral gebieden die nu groen of geel gekleurd zijn op de kaart, maar die grenzen aan een gebied met een rode kleur. In deze gebieden bedraagt de verwachte waterdiepte nu minder dan 1,5 m maar kan de waterdiepte als gevolg van klimaatverandering toenemen tot meer dan 1,5 m. Het water stroomt dan alsnog de woning binnen, waardoor de er geen schadevermindering zal zijn.

In buitendijkse gebieden die frequent overstromen (overstromingskans orde 1:10 tot 1:250 per jaar) is de maatregel ook economisch gezien interessant.

In buitendijkse gebieden die wit zijn gebleven op de kaart (momenteel 'hoogwatervrij') is *dry proof* bouwen voor de toekomst mogelijk een aantrekkelijke maatregel. Immers, wanneer het klimaat verandert en de waterstanden toenemen, zullen deze gebieden mogelijk wel overstromen. De waterdiepte zal dan gering zijn (beduidend minder dan 1,5 m). Dit betekent dat *dry proof* bouwen 100% van de schade kan vermijden.

Wetproof bouwen

Bij *wet proof* bouwen treedt minder schade op aan de woning omdat andere materialen zijn gebruikt en voorzieningen in de woning zijn aangepast (meterkast en stopcontacten zitten bijv. op grotere hoogte). Omdat schade aan inboedel niet wordt vermeden is de schadereductie minder dan bij *dry proof* bouwen. Voor de overige conclusies qua toepasbaarheid van de maatregel wordt verwezen naar *dry proof* bouwen.

Wonen op de eerste verdieping

Bij deze maatregel is aangenomen dat belangrijke voorzieningen zijn aangebracht op de 1^e verdieping en dat ook het belangrijkste deel van de inboedel zich op een hogere verdieping bevindt. De begane grond wordt zodanig gebruikt dat deze minder gevoelig is voor overstroming en dus tot minder schade leidt.

Deze maatregel is alleen geschikt in gebieden waar de waterdiepte minder dan 2,5 m bedraagt (alleen de begane grond wordt nat). In het gebied van de Rijn-Maasmonding is dat vooral het geval in:

- Dijkkring 14 (Centraal Holland), met uitzondering van een aantal zeer laag gelegen polders;
- Grote delen van dijkkring 17 (IJsselmonde), 19 (Rozenburg), 20 (Voorne-Putten) en 21 (Hoekse Waard);
- Het zuidelijk deel van dijkkring 22 (Eiland van Dordrecht);
- Het westen van dijkkring 24 (Land van Altena);
- Delen van dijkkring 25 (Goeree-Overflakkee) en 34 (West Brabant);
- In veel buitendijkse gebieden (ook die nu nog hoogwatervrij zijn).

Economisch gezien kan deze maatregel alleen uit wanneer de overstromingskans groter is dan 1:100 a 1:250. In de dijkringen is dit alleen het geval wanneer de dijken niet worden versterkt en de overstromingskans als gevolg van klimaatverandering toe zal nemen. Op dit moment kan de maatregel alleen uit in buitendijks gelegen gebieden die voldoende frequent overstromen (dus niet de hoogwatervrije terreinen).

7.3.6 Evacuatie

Op basis van analyses met een evacuatiemodel wordt verwacht dat het verbeteren van de organisatorische voorbereiding van preventieve evacuatie in dit gebied kan leiden tot een verhoging van het evacuatiepercentage van 15% tot ongeveer 30%.

7.3.7 Overige overwegingen

Economische effectiviteit

Economisch gezien kan aangepast bouwen alleen uit in gebieden waar de overstromingskans groter is dan 1:250. Dit zijn doorgaans de onbedijkte gebieden. Wanneer men de dijken niet zou versterken en de overstromingskans als gevolg van klimaatverandering toe neemt, wordt aangepast bouwen in het beneden rivierengebied economisch gezien, ook in bedijkte gebieden aantrekkelijker.

Slachtofferrisico's

Gevolgbeperkende maatregelen kunnen ook worden overwogen om het slachtofferrisico te reduceren. Een maatregel in laag 2 of 3 kan in dat geval aantrekkelijker zijn dan het versterken van de primaire waterkering. Omdat het LIR veelal hoog is in gebieden met een grote waterdiepte dient vooral te worden gekeken naar de maatregelen 'elders bouwen', integraal ophogen of de aanleg van een uitlaatwerk in het geval van een hellende dijkkring. *Wet proof* of *dry proof* bouwen lijkt hier niet voor de hand liggend.

Klimaatverandering

Klimaatverandering beïnvloedt niet alleen de overstromingskans, maar ook de waterdiepte bij overstromen. In gebieden waar de waterdiepte nu nog net perspectieven biedt voor bijv. *dry proof* of *wet proof* bouwen, loopt men het risico dat dit over een aantal decennia niet meer het geval is, omdat de kritieke waterdiepte waarbij nog sprake is van schadereductie dan wordt overschreden. Maatregelen die gevoelig zijn voor veranderingen in waterdiepte zijn o.a. *wet proof* en *dry proof* bouwen en wonen op de 1^e verdieping. Integraal ophogen is in dat opzicht een robuustere maatregel.

Omgekeerd betekent klimaatverandering voor hoger gelegen buitendijkse gebieden dat de kansrijkdom voor veel vormen van aangepast bouwen toeneemt. In de huidige situatie is de overstromingskans van zogenaamde 'hoogwatervrije terreinen' zo klein dat aangepast bouwen zinloos is. Wanneer klimaatverandering leidt tot hogere waterstanden neemt de kansrijkdom toe, ook voor buitendijkse gebieden die op de huidige kaart wit zijn gebleven omdat ze nu hoogwatervrij zijn.

7.4 IJsselmeergebied

7.4.1 Deltadijken

Wanneer deltdijken aangelegd worden om het slachtofferisico te reduceren, dan lijkt dit langs het IJsselmeer haast ergens aan de orde, behalve misschien bij Almere. Uit economische overwegingen komen de dijken van Flevoland en die in de IJssel-Vechtdelta het meest in aanmerking.

7.4.2 Compartimenteren

Een aantal dijkringen in dit gebied, gelegen op het 'oude land', zijn al sterk gecompartmenteerd door boezemkades en/of oude dijken (Noord Holland, Friesland-Groningen). Uit overstromingssimulaties blijkt dat deze bestaande compartimentering zeer effectief bijdraagt aan het beperken van het overstromd oppervlak en daarmee op het beperken van schade en slachtoffers. Overwogen kan worden om één of meer van deze keringen aan te wijzen als compartimenteringskering. In dat geval dient nagegaan te worden of de standzekerheid van de kering voldoende is. Daarnaast dient te worden nagegaan of de keringen bij een hogere IJsselmeerstand (indien het peil wordt opgezet) niet te laag zijn.

Van de dijkringen gelegen op het nieuwe land, is alleen Flevoland gecompartmenteerd. De Knardijk beschermt Almere in het geval de dijk bij Lelystad bezwijkt en omgekeerd. Uit de compartimenteringstudie is gebleken dat aanvullende compartimentering, economisch gezien, niet aantrekkelijk is (Asselman, 2008).

7.4.3 Uitlaatwerk

De aanleg van een uitlaatwerk is nergens langs het IJsselmeer opportuun.

7.4.4 Elders bouwen

In gebieden met een hoog Lokaal Individueel Risico (LIR) of een hoog Lokaal Schade Gevaar (LSG), zou men zich in het geval van nieuwbouw af moeten vragen of 'elders bouwen' een optie is. Bij de huidige overstromingskansen varieert het LIR in dijkringen die grenzen aan het IJsselmeer van minder dan 10^{-7} tot maximaal 10^{-5} (Figuur 4.1). Deze laatste waarde wordt, bij de huidige overstromingskansen, nergens overschreden. De hoogste waarden komen voor in:

- Dijkkring 7 (Noordoostpolder);
- Dijkkring 8 (Flevoland);
- Dijkkringen 9 t/m 11 (Vollenhove, Mastenbroek en IJsseldelta), allen gelegen bij de IJsseldelta;
- Dijkkring 12 (Wieringen).

Mogelijk is bij deze laatste dijkkring het relatief hoge LIR het gevolg van doorbraken vanuit de Waddenzee, en niet, of in mindere mate, van doorbraken vanuit het IJsselmeer.

Ook het LSG is, zeker in vergelijking tot het bovenrivierengebied, relatief laag (Figuur 4.2). Dit komt niet zo zeer door de overstromingsdieptes (deze zijn op veel plaatsen aanzienlijk), maar

door de relatief kleine kans op overstromen. De hoogste LSG waardes komen voor in de IJsseldelta.

7.4.5 Anders bouwen

Integraal ophogen

Integraal ophogen is in de dijkringen langs het IJsselmeer een aantrekkelijke maatregel: bij ophoging met 1 tot 2 m is overal een afname van de schade te verwachten.

Wanneer als gevolg van klimaatverandering de buitenwaterstand toeneemt, dan zal dit binnendijks tot iets groter waterdieptes leiden. De maatregel is echter niet erg gevoelig voor een verandering in waterdiepte: de schadereductie zal iets minder worden, maar zeker niet nul.

Qua economische haalbaarheid geldt wel dat bij de huidige overstromingskansen, de kosten van de maatregel niet opwegen tegen de baten. Wanneer het klimaat verandert en de dijken niet worden verhoogd en versterkt (en de overstromingskans dus toeneemt), dan kan de maatregel economisch gezien mogelijk wel uit. Wanneer de maatregel wordt ingezet met als primair doel het verkleinen van de kans op slachtoffers (bijv. in gebieden met een hoog LIR), dan spelen deze economische overwegingen een minder belangrijke rol.

Bouwen op palen

Deze maatregel is qua schadereductie vergelijkbaar met integraal ophogen (zie hier boven)

Verhoogd vloerpeil

Wanneer woningen worden gebouwd met een verhoogd vloerpeil heeft dit qua schadereductie hetzelfde effect als ophoging van de woning door middel van grond. Bij het maken van de kansrijkdomkaarten is aangenomen dat het vloerpeil met 1 m wordt verhoogd. De schadereductie is in dat geval gelijk aan de schadereductie bij ophoging met 1 m (zie verder de paragraaf over integraal ophogen). Het is echter niet zo dat de woningen met een verhoogd vloerpeil droog blijven. In de meeste gebieden is de waterdiepte daarvoor te groot (zie ook Figuur 2.1).

Dry proof bouwen

Wanneer woningen *dry proof* worden aangelegd, betekent dit dat de muren, deuren en ramen waterkerend zijn. Hoewel deze maatregel ook bij grote waterdieptes toegepast kan worden, vindt de meeste toepassing plaats bij overstromingen die alleen de begane grond treffen. Bij grotere waterdieptes lopen de kosten op (een groter oppervlak aan ramen, deuren en muren moet waterkerend zijn, en deze moeten bovendien grotere krachten aankunnen i.v.m. een toenemende waterdruk). In deze studie is uitgegaan van een waterkerende hoogte van 1,5 m. In dat geval leidt de maatregel slechts in een zeer beperkt aantal gebieden tot schadereductie. Dit zijn:

- De hogere gronden aan de oostkant van de Noordoostpolder;
- Delen van Friesland grenzend aan het IJsselmeer;
- Delen van West-Friesland.

De effectiviteit van deze maatregel is zeer gevoelig voor een verandering in de waterdiepte. Wanneer in de toekomst besloten wordt het IJsselmeerpeil mee te laten stijgen met de zeespiegel, kan dit leiden tot een afname van het oppervlak waar *dry proof* bouwen een mogelijke maatregel is om de schade bij overstromen te beperken.

Wetproof bouwen

Bij *wet proof* bouwen treedt minder schade op aan de woning omdat andere materialen zijn gebruikt en voorzieningen in de woning zijn aangepast (meterkast en stopcontacten zitten bijv. op grotere hoogte). Omdat schade aan inboedel niet wordt vermeden is de schadereductie minder dan bij *dry proof* bouwen. Voor de overige conclusies qua toepasbaarheid van de maatregel wordt verwezen naar *dry proof* bouwen.

Wonen op de eerste verdieping

Bij deze maatregel is aangenomen dat belangrijke voorzieningen zijn aangebracht op de 1^e verdieping en dat ook het belangrijkste deel van de inboedel zich op een hogere verdieping bevindt. De begane grond wordt zodanig gebruikt dat deze minder gevoelig is voor overstroming en dus tot minder schade leidt.

Deze maatregel is alleen geschikt in gebieden waar de waterdiepte minder dan 2,5 m bedraagt (alleen de begane grond wordt nat). Nabij het IJsselmeer is deze maatregel vooral te overwegen in:

- De hogere gronden aan de oostkant van de Noordoostpolder;
- Delen van Friesland grenzend aan het IJsselmeer;
- Delen van West-Friesland.

Economisch gezien kan deze maatregel alleen uit wanneer de overstromingskans groter is dan 1:100 a 1:250. De overstromingskansen van dijkringen grenzend aan het IJsselmeer zijn kleiner. Dit betekent dat aangepast bouwen economisch niet rendabel is.

7.4.6 Evacuatie

Op basis van analyses met een evacuatiemodel wordt verwacht dat het verbeteren van de organisatorische voorbereiding van preventieve evacuatie in dit gebied kan leiden tot een verhoging van het evacuatiepercentage van circa 50% tot ongeveer 65%.

7.4.7 Overige overwegingen**Economische effectiviteit**

Economisch gezien is aangepast bouwen alleen rendabel in gebieden waar de overstromingskans groter is dan orde 1:250 per jaar. Alle dijkringen langs het IJsselmeer hebben een kleinere overstromingskans. Aangepast bouwen kan wel effectief zijn, maar allen daar waar het niet te diep wordt; dus niet in de IJsselmeerpolders maar wel op het oude land. Wanneer men overweegt buitendijks te gaan bouwen (bijvoorbeeld bij Almere), dan kan aangepast bouwen economische wel aantrekkelijk zijn.

Slachtofferrisico's

Gevolgbeperkende maatregelen kunnen ook worden overwogen om het slachtofferrisico te reduceren. Een maatregel in laag 2 of 3 kan in dat geval aantrekkelijker zijn dan het versterken van de primaire waterkering. Omdat het LIR veelal hoog is in gebieden met een grote waterdiepte dient vooral te worden gekeken naar de maatregelen 'elders bouwen' en integraal ophogen. *Wet proof* of *dry proof* bouwen lijkt hier niet voor de hand liggend.

7.5 Waddengebied

7.5.1 Deltadijken

De analyse van De Bruijn en Klijn (2011) heeft geen locaties langs de Waddenzee opgeleverd, waar een deltadijk een grote bijdrage levert aan reductie van het slachtofferrisico. Bij een minder strenge grens aan het aantal slachtoffers dan zij hebben gehanteerd zouden Harlingen en Delfzijl mogelijk in aanmerking komen.

7.5.2 Compartimenteren

De dijkkring Friesland-Groningen kent al een sterke compartimentering. Dit is deels het gevolg van de lange geschiedenis van aandijkingen. Ook de aanwezige boezemstelsels kunnen bij een overstroming als compartimenteringsdijk functioneren. Wanneer men deze keringen aan wil wijzen als compartimenteringsdijken is aandacht nodig voor de standzekerheid van deze keringen nu en in de toekomst (bij een hogere zeespiegelstand kunnen de huidige keringen te laag zijn).

7.5.3 Uitlaatwerk

De aanleg van een uitlaatwerk is in het Waddengebied nergens effectief.

7.5.4 Elders bouwen

In gebieden met een hoog Lokaal Individueel Risico (LIR) of een hoog Lokaal Schade Gevaar (LSG), zou men zich in het geval van nieuwbouw af moeten vragen of 'elders bouwen' een optie is. Bij de huidige overstromingskansen varieert het LIR in dijkkringen die grenzen aan de Waddenzee van minder dan 10^{-7} tot maximaal 10^{-5} (Figuur 4.1). Deze laatste waarde wordt, bij de huidige overstromingskansen, niet overschreden. De hoogste waarden komen voor bij het Lauwersmeer. Ook het LSG is, zeker in vergelijking tot het bovenrivierengebied, relatief laag (Figuur 4.2).

7.5.5 Anders bouwen

Integraal ophogen

Integraal ophogen is in de dijkkringen langs de Waddenzee een aantrekkelijke maatregel: bij ophoging met 1 tot 2 m is overal een afname van de schade te verwachten (op de Waddeneilanden, de kop van Noord Holland en langs de kust van Friesland en Groningen).

Wanneer als gevolg van klimaatverandering de buitenwaterstand toeneemt, dan zal dit binnendijks tot iets groter waterdieptes leiden. De maatregel is echter niet erg gevoelig voor een verandering in waterdiepte: de schadereductie zal iets minder worden, maar zeker niet nul.

Qua economische haalbaarheid geldt wel dat bij de huidige overstromingskansen, de kosten van de maatregel niet opwegen tegen de baten. Wanneer het klimaat verandert en de dijken niet worden verhoogd en versterkt (en de overstromingskans dus toeneemt), dan kan de maatregel economisch gezien mogelijk wel uit. Wanneer de maatregel wordt ingezet met als

primair doel het verkleinen van de kans op slachtoffers (bijv. in gebieden met een hoog LIR), dan spelen deze economische overwegingen een minder belangrijke rol.

Tot slot wordt opgemerkt dat in dijkkring 6 (Friesland en Groningen) kansen liggen om mee te koppelen met overstromingsrisico's vanuit het regionale watersysteem. Dit maakt de maatregel mogelijk in een groter deel van de dijkkring interessant (ook in gebieden die nu wit zijn op de kaart). Economisch gezien wordt de maatregel ook rendabeler (grotere overstromingskansen).

Bouwen op palen

Deze maatregel is qua schadereductie vergelijkbaar met integraal ophogen (zie hier boven)

Verhoogd vloerpeil

Wanneer woningen worden gebouwd met een verhoogd vloerpeil heeft dit qua schadereductie hetzelfde effect als ophoging van de woning door middel van grond. Bij het maken van de kansrijkdomkaarten is aangenomen dat het vloerpeil met 1 m wordt verhoogd. De schadereductie is in dat geval gelijk aan de schadereductie bij ophoging met 1 m (zie paragraaf over integraal ophogen).

Dry proof bouwen

Wanneer woningen *dry proof* worden aangelegd, betekent dit dat de muren, deuren en ramen waterkerend zijn. Hoewel deze maatregel ook bij grote waterdieptes toegepast kan worden, vindt de meeste toepassing plaats bij overstromingen die alleen de begane grond treffen. Bij grotere waterdieptes lopen de kosten op (een groter oppervlak aan ramen, deuren en muren moet waterkerend zijn, en deze moeten bovendien grotere krachten aankunnen i.v.m. een toenemende waterdruk). In deze studie is uitgegaan van een waterkerende hoogte van 1,5 m.

Dry proof bouwen kan worden toegepast in de volgende gebieden:

- Delen van de Waddeneilanden (met uitzondering van de laagst gelegen binnendijkse gebieden);
- Nabij Breezand in dijkkring 14 (ten zuidoosten van Den Helder);
- Grote delen van dijkkring 6 (Friesland-Groningen).

De effectiviteit van deze maatregel is zeer gevoelig voor een verandering in de waterdiepte. Wanneer het klimaat verandert en de zeespiegel stijgt, zal dit leiden tot een grotere waterdiepte bij overstroming. Dit betekent dat in sommige gebieden waar in de huidige situatie wel sprake is van schadereductie, bij klimaatverandering geen sprake meer zal zijn van schadereductie. Dit betreft vooral gebieden die nu groen of geel gekleurd zijn op de kaart, maar die grenzen aan een gebied met een rode kleur. In deze gebieden bedraagt de verwachte waterdiepte nu minder dan 1,5 m maar kan de waterdiepte als gevolg van klimaatverandering toenemen tot meer dan 1,5 m. Het water stroomt dan alsnog de woning binnen, waardoor de er geen schadevermindering zal zijn.

Wet proof bouwen

Bij *wet proof* bouwen treedt minder schade op aan de woning omdat andere materialen zijn gebruikt en voorzieningen in de woning zijn aangepast (meterkast en stopcontacten zitten bijv. op grotere hoogte). Omdat schade aan inboedel niet wordt vermeden is de schadereductie minder dan bij *dry proof* bouwen. Voor de overige conclusies qua toepasbaarheid van de maatregel wordt verwezen naar *dry proof* bouwen.

Wonen op de eerste verdieping

Bij deze maatregel is aangenomen dat belangrijke voorzieningen zijn aangebracht op de 1^e verdieping en dat ook het belangrijkste deel van de inboedel zich op een hogere verdieping bevindt. De begane grond wordt zodanig gebruikt dat deze minder gevoelig is voor overstroming en dus tot minder schade leidt.

Deze maatregel is alleen geschikt in gebieden waar de waterdiepte minder dan 2,5 m bedraagt (alleen de begane grond wordt nat). Langs de Waddenzee is dit bijna overal het geval.

Economisch gezien kan aangepast bouwen alleen uit wanneer de overstromingskans groter is dan 1:100 a 1:250. In de dijkringen is dit alleen het geval wanneer de dijken niet worden versterkt. De economische effectiviteit in dijkring 6 (Friesland-Groningen) neemt sterk toe wanneer ook overstromingen en regionale wateren in beschouwing wordt genomen.

7.5.6 Evacuatie

Op basis van analyses met een evacuatiemodel wordt verwacht dat het verbeteren van de organisatorische voorbereiding van preventieve evacuatie in gebieden grenzend aan de Waddenzee kan leiden tot een verhoging van het evacuatiepercentage van orde 35% tot ongeveer 55%.

7.5.7 Overige overwegingen

Economische effectiviteit

Economisch gezien kan aangepast bouwen alleen uit in gebieden waar de overstromingskans groter is dan orde 1:250 per jaar. Dit zijn doorgaans de buitendijkse gebieden. Wanneer de overstromingskans als gevolg van klimaatverandering toe neemt, en men de dijken niet versterkt, wordt aangepast bouwen in gebieden grenzend aan de Waddenzee economisch gezien, ook in bedijkte gebieden aantrekkelijker.

Slachtofferrisico's

Gevolgbeperkende maatregelen kunnen ook worden overwogen om het slachtofferrisico te reduceren. Een maatregel in laag 2 of 3 kan in dat geval aantrekkelijker zijn dan het versterken van de primaire waterkering. Vanwege de relatief beperkte waterdieptes in dit gebied, komen veel maatregelen in aanmerking.

Klimaatverandering

Klimaatverandering beïnvloedt niet alleen de overstromingskans, maar ook de waterdiepte bij overstrooming. In gebieden waar de waterdiepte nu nog net perspectieven biedt voor bijv. *dry proof* of *wet proof* bouwen, loopt men het risico dat dit over een aantal decennia niet meer het geval is, omdat de kritieke waterdiepte waarbij nog sprake is van schadereductie dan wordt overschreden. Maatregelen die gevoelig zijn voor veranderingen in waterdiepte zijn o.a. *wet proof* en *dry proof* bouwen en wonen op de 1^e verdieping. Integraal ophogen is in dat opzicht een robuustere maatregel.

7.6 Hollandse Kust

7.6.1 Deltadijken

Langs de Hollandse Kust lijkt de aanleg van een deltdijk om het slachtofferrisico te reduceren het overwegen waard in dijkkring 14, ter hoogte van Noordwijk en Scheveningen (Figuur 3.1).

7.6.2 Compartimenteren

De dijkringen langs de Hollandse Kust (Noord en Zuid Holland) kennen al een sterke compartimentering. Deze compartimentering hangt samen met de aanwezigheid van waterkeringen rond droogmakerijen, langs het boezemstelsel en langs oude riviertjes. Wanneer men deze bestaande keringen aan wil wijzen als compartimenteringsdijken is aandacht nodig voor de standzekerheid van deze keringen nu en in de toekomst (bij een hogere zeespiegelstand kunnen de huidige keringen te laag zijn). De aanleg van nieuwe keringen lijkt economisch niet efficiënt.

7.6.3 Uitlaatwerk

De aanleg van een uitlaatwerk is nergens langs de Hollandse kust effectief, omdat hier geen hellende dijkringen voorkomen.

7.6.4 Elders bouwen

In gebieden met een hoog Lokaal Individueel Risico (LIR) of een hoog Lokaal Schade Gevaar (LSG), zou men zich in het geval van nieuwbouw af moeten vragen of 'elders bouwen' een optie is. Bij de huidige overstromingskansen zijn de berekende LIR-waarden langs de Hollandse kust laag. Een waarde van maximaal 10^{-5} wordt, bij de huidige overstromingskansen, niet overschreden. Ook het LSG is, zeker in vergelijking tot het bovenrivierengebied, laag.

7.6.5 Anders bouwen

Integraal ophogen

Integraal ophogen is in dijkkring 13 en 14 (Noord en Zuid Holland) een aantrekkelijke maatregel: bij ophoging met 1 tot 2 m is overal een afname van de schade te verwachten.

Wanneer als gevolg van klimaatverandering de buitenwaterstand toeneemt, dan zal dit binnendijks tot iets groter waterdieptes leiden. De maatregel is echter niet erg gevoelig voor een verandering in waterdiepte: de schadereductie zal iets minder worden, maar zeker niet nul.

Qua economische haalbaarheid geldt wel dat bij de huidige overstromingskansen, de kosten van de maatregel niet opwegen tegen de baten. Wanneer het klimaat verandert en de dijken niet worden verhoogd en versterkt (en de overstromingskans dus toeneemt), dan kan de maatregel economisch gezien mogelijk wel uit. Wanneer de maatregel wordt ingezet met als

primair doel het verkleinen van de kans op slachtoffers (bijv. in gebieden met een hoog LIR), dan spelen deze economische overwegingen een minder belangrijke rol.

Tot slot wordt opgemerkt dat in deze dijkringen kansen liggen om mee te koppelen met overstromingsrisico's vanuit het regionale watersysteem (het boezemstelsel). Dit maakt de maatregel mogelijk in een groter deel van de dijkkring interessant (ook in gebieden die nu wit zijn op de kaart). Economisch gezien wordt de maatregel ook rendabeler (grotere overstromingskansen).

Bouwen op palen

Deze maatregel is qua schadereductie vergelijkbaar met integraal ophogen (zie hier boven)

Verhoogd vloerpeil

Wanneer woningen worden gebouwd met een verhoogd vloerpeil heeft dit qua schadereductie hetzelfde effect als ophoging van de woning door middel van grond. Bij het maken van de kansrijkdomkaarten is aangenomen dat het vloerpeil met 1 m wordt verhoogd. De schadereductie is in dat geval gelijk aan de schadereductie bij ophoging met 1 m (zie paragraaf over integraal ophogen).

Dry proof bouwen

Wanneer woningen *dry proof* worden aangelegd, betekent dit dat de muren, deuren en ramen waterkerend zijn. In deze studie is uitgegaan van een waterkerende hoogte van 1,5 m. In dat geval leidt de maatregel vooral tot schadereductie bij doorbraken langs de Noordzeekust.

De effectiviteit van deze maatregel is zeer gevoelig voor een verandering in de waterdiepte. Wanneer het klimaat verandert en de waterstand op de rivier toeneemt, zal dit leiden tot een grotere waterdiepte bij overstroming. Dit betekent dat in sommige gebieden waar in de huidige situatie wel sprake is van schadereductie, bij klimaatverandering geen sprake meer zal zijn van schadereductie. Dit betreft vooral gebieden die nu groen of geel gekleurd zijn op de kaart, maar die grenzen aan een gebied met een rode kleur. In deze gebieden bedraagt de verwachte waterdiepte nu minder dan 1,5 m maar kan de waterdiepte als gevolg van klimaatverandering toenemen tot meer dan 1,5 m. Het water stroomt dan als nog de woning binnen, waardoor de er geen schadevermindering zal zijn.

Wet proof bouwen

Bij *wet proof* bouwen treedt minder schade op aan de woning omdat andere materialen zijn gebruikt en voorzieningen in de woning zijn aangepast (meterkast en stopcontacten zitten bijv. op grotere hoogte). Omdat schade aan inboedel niet wordt vermeden is de schadereductie minder dan bij *dry proof* bouwen. Voor de overige conclusies qua toepasbaarheid van de maatregel wordt verwezen naar *dry proof* bouwen.

Wonen op de eerste verdieping

Bij deze maatregel is aangenomen dat belangrijke voorzieningen zijn aangebracht op de 1^e verdieping en dat ook het belangrijkste deel van de inboedel zich op een hogere verdieping bevindt. De begane grond wordt zodanig gebruikt dat deze minder gevoelig is voor overstroming en dus tot minder schade leidt.

Deze maatregel is alleen geschikt in gebieden waar de waterdiepte minder dan 2,5 m bedraagt (alleen de begane grond wordt nat). Langs de Hollandse kust is dit op de meeste plaatsen het geval.

Economisch gezien kan deze maatregel alleen uit wanneer de overstromingskans groter is dan 1:100 a 1:250. Dit is hier niet het geval.

7.6.6 Evacuatie

Op basis van analyses met een evacuatiemodel wordt verwacht dat het verbeteren van de organisatorische voorbereiding van preventieve evacuatie langs de Hollandse kust kan leiden tot een verhoging van het evacuatiepercentage van minder dan 15% tot ongeveer 25%.

7.6.7 Overige overwegingen

Economische effectiviteit

Economisch gezien kan aangepast bouwen alleen uit in gebieden waar de overstromingskans groter is dan orde 1:250 per jaar. De overstromingskans langs de Hollandse kust is op dit moment veel kleiner.

De economische effectiviteit neemt wel significant toe wanneer ook overstromingen vanuit het regionale (boezem)watersysteem in beschouwing worden genomen. De maatregelen vallen dan ook te overwegen in gebieden die wit zijn gebleven op de huidige kaart.

Slachtofferrisico's

Gevolgbeperkende maatregelen kunnen ook worden overwogen om het slachtofferrisico te reduceren. Een maatregel in laag 2 of 3 kan in dat geval aantrekkelijker zijn dan het versterken van de primaire waterkering. Vanwege de beperkte waterdiepte komen zeer veel maatregelen in aanmerking.

Klimaatverandering

Klimaatverandering beïnvloedt niet alleen de overstromingskans, maar ook de waterdiepte bij overstroom. In gebieden waar de waterdiepte nu nog net perspectieven biedt voor bijv. *dry proof* of *wet proof* bouwen, loopt men het risico dat dit over een aantal decennia niet meer het geval is, omdat de kritieke waterdiepte waarbij nog sprake is van schadereductie dan wordt overschreden. Maatregelen die gevoelig zijn voor veranderingen in waterdiepte zijn o.a. *wet proof* en *dry proof* bouwen en wonen op de 1^e verdieping. Integraal ophogen is in dat opzicht een robuustere maatregel.

7.7 Zuidwestelijke Delta

7.7.1 Deltadijken

In de Zuidwestelijke delta is een deltdiijk die is bedoeld voor de reductie van het slachtofferrisico te overwegen bij (Figuur 3.1):

- Dijkkring 30 (Zuid-Beveland), ten westen van Hansweert;
- Dijkkring 32 (Zeeuwsch- Vlaanderen) bij Terneuzen.

7.7.2 Compartimenteren

De dijkeringen in de Zuidwestelijke delta kennen al een sterke compartimentering. Deze compartimentering is het gevolg van de lange geschiedenis van aandijkingen. Wanneer men deze voormalige waterkeringen aan wil wijzen als compartimenteringsdijken, is aandacht nodig voor de standzekerheid van deze keringen nu en in de toekomst (bij een hogere zeespiegelstand kunnen de huidige keringen te laag zijn om het water daadwerkelijk te keren).

7.7.3 Uitlaatwerk

De aanleg van een uitlaatwerk is in de Zuidwestelijke Delta nergens aantrekkelijk, omdat hier geen hellende dijkeringen voorkomen.

7.7.4 Elders bouwen

In gebieden met een hoog Lokaal Individueel Risico (LIR) of een hoog Lokaal Schade Gevaar (LSG), zou men zich in het geval van nieuwbouw af moeten vragen of 'elders bouwen' een optie is. Bij de huidige overstromingskansen wordt in de Zuidwestelijke delta een LIR van 10^{-5} slechts zeer lokaal overschreden, namelijk in:

- Dijkkring 30 (Zuid-Beveland) bij Hansweert;
- Dijkkring 26 (Schouwen-Duiveland) ten zuiden van Zierikzee.

Andere gebieden met een relatief hoog LIR zijn:

- Delen van dijkkring 25 (Goeree-Overflakkee);
- Dijkkring 26 (Schouwen-Duiveland);
- Dijkkring 31 (Zuid-Beveland).

Het LSG is, zeker in vergelijking tot het bovenrivierengebied, relatief laag.

7.7.5 Anders bouwen

Integraal ophogen

Integraal ophogen is in de Zuidwestelijke delta een aantrekkelijke maatregel: bij ophoging met 1 tot 2 m is overal een afname van de schade te verwachten.

Wanneer als gevolg van klimaatverandering de buitenwaterstand toeneemt, dan zal dit binnendijks tot iets groter waterdieptes leiden. De maatregel is echter niet erg gevoelig voor

een verandering in waterdiepte: de schadereductie zal iets minder worden, maar zeker niet nul. Daar komt bij dat bij een hogere buitenwaterstand mogelijk meer secundaire keringen overstromen, waardoor de maatregel ook in polders die wat verder van de primaire waterkering liggen, zinvol wordt.

Qua economische haalbaarheid geldt wel dat bij de huidige overstromingskansen, de kosten van de maatregel niet opwegen tegen de baten. Wanneer het klimaat verandert en de dijken niet worden verhoogd en versterkt (en de overstromingskans dus toeneemt), dan kan de maatregel economisch gezien mogelijk wel uit. Wanneer de maatregel wordt ingezet met als primair doel het verkleinen van de kans op slachtoffers (bijv. in gebieden met een hoog LIR), dan spelen deze economische overwegingen een minder belangrijke rol.

Bouwen op palen

Deze maatregel is qua schadereductie vergelijkbaar met integraal ophogen (zie hier boven)

Verhoogd vloerpeil

Wanneer woningen worden gebouwd met een verhoogd vloerpeil heeft dit qua schadereductie hetzelfde effect als ophoging van de woning door middel van grond. Bij het maken van de kansrijkdomkaarten is aangenomen dat het vloerpeil met 1 m wordt verhoogd. De schadereductie is in dat geval gelijk aan de schadereductie bij ophoging met 1 m (zie paragraaf over integraal ophogen).

Dry proof bouwen

Wanneer woningen *dry proof* worden aangelegd, betekent dit dat de muren, deuren en ramen waterkerend zijn. Hoewel deze maatregel ook bij grote waterdieptes toegepast kan worden, vindt de meeste toepassing plaats bij overstromingen die alleen de begane grond treffen. In deze studie is uitgegaan van een waterkerende hoogte van 1,5 m. In dat geval leidt de maatregel slechts in een beperkt aantal gebieden tot schadereductie. Dit zijn:

- Dijkkring 32 (Zeeuws Vlaanderen) in polders die niet direct aan de Westerschelde grenzen;
- Dijkkring 29 (Walcheren);
- Dijkkring 30 (Zuid Beveland oost) in polders die niet direct aan de Westerschelde grenzen

De effectiviteit van deze maatregel is zeer gevoelig voor een verandering in de waterdiepte. Wanneer het klimaat verandert en de waterstand op de rivier toeneemt, zal dit leiden tot een grotere waterdiepte bij overstroming. Dit betekent dat in sommige gebieden waar in de huidige situatie wel sprake is van schadereductie, bij klimaatverandering geen sprake meer zal zijn van schadereductie. Dit betreft vooral gebieden die nu groen of geel gekleurd zijn op de kaart, maar die grenzen aan een gebied met een rode kleur. In deze gebieden bedraagt de verwachte waterdiepte nu minder dan 1,5 m maar kan de waterdiepte als gevolg van klimaatverandering toenemen tot meer dan 1,5 m. Het water stroomt dan als nog de woning binnen, waardoor de er geen schadevermindering zal zijn.

Wet proof bouwen

Bij *wet proof* bouwen treedt minder schade op aan de woning omdat andere materialen zijn gebruikt en voorzieningen in de woning zijn aangepast (meterkast en stopcontacten zitten bijv. op grotere hoogte). Omdat schade aan inboedel niet wordt vermeden is de schadereductie minder dan bij *dry proof* bouwen. Voor de overige conclusies qua toepasbaarheid van de maatregel wordt verwezen naar *dry proof* bouwen.

Wonen op de eerste verdieping

Bij deze maatregel is aangenomen dat belangrijke voorzieningen zijn aangebracht op de 1^e verdieping en dat ook het belangrijkste deel van de inboedel zich op een hogere verdieping bevindt. De begane grond wordt zodanig gebruikt dat deze minder gevoelig is voor overstroming en dus tot minder schade leidt.

In de Zuid westelijke Delta kan deze maatregel worden overwogen in dezelfde gebieden als *dry proof* bouwen.

Economisch gezien is aangepast bouwen alleen rendabel wanneer de overstromingskans groter is dan 1:100 a 1:250. Dit is hier vanuit het hoofwatersysteem nergens het geval, maar kan vanuit boezemwateren wel het geval zijn.

7.7.6 Evacuatie

Op basis van analyses met een evacuatiemodel wordt verwacht dat het verbeteren van de organisatorische voorbereiding van preventieve evacuatie in de zuidwestelijke delta kan leiden tot een verhoging van het evacuatiepercentage van ongeveer 20% tot ongeveer 55%.

7.7.7 Overige overwegingen

Economische effectiviteit

Economisch gezien kan aangepast bouwen alleen uit in gebieden waar de overstromingskans groter is dan orde 1:250 per jaar. Wanneer men de dijken niet zou versterken terwijl de zeespiegel stijgt, wordt aangepast bouwen in de zuidwestelijke delta economisch gezien aantrekkelijker.

LIR

Gevolgbeperkende maatregelen kunnen ook worden overwogen om het slachtoffer risico te reduceren (het LIR te verlagen). Een maatregel in laag 2 of 3 kan in dat geval aantrekkelijker zijn dan het versterken van de primaire waterkering. Omdat het LIR veelal hoog is in gebieden met een grote waterdiepte dient vooral te worden gekeken naar de maatregelen 'elders bouwen' en integraal ophogen of bouwen op palen. *Wet proof* of *dry proof* bouwen lijkt hier niet voor de hand liggend.

Klimaatverandering

Klimaatverandering beïnvloedt niet alleen de overstromingskans, maar ook de waterdiepte bij overstromen. In gebieden waar de waterdiepte nu nog net perspectieven biedt voor bijv. *dry proof* of *wet proof* bouwen, loopt men het risico dat dit over een aantal decennia niet meer het geval is, omdat de kritieke waterdiepte waarbij nog sprake is van schadereductie dan wordt overschreden. Maatregelen die gevoelig zijn voor veranderingen in waterdiepte zijn o.a. *wet proof* en *dry proof* bouwen en wonen op de 1^e verdieping. Integraal ophogen is in dat opzicht een robuustere maatregel.

8 Literatuur

- Anonymus ('Productieteam Kaarten') (2011). Overstromingsrisico's op de kaart. Handboek, concept juli 2011.
- Asselman, N. (2008). Compartimenteringstudie; Casestudie Zuidelijk Flevoland. Deltares-rapport T2513.37
- Asselman, N., F. Klijn, H. van der Most (2008). Verkenning van nadere compartimentering van dijkgebieden. Deltares-rapport T2513.00, Delft.
- Asselman, N., Wesselijs, C., Leenders, J., Groot Zwaafink, M. (2010). Onzekerheden in overstromingsmodellering - Hoe uiten onzekerheden in modelschematisatie en scenariokeuze zich in berekende overstromingskenmerken? Deltaresrapport 1200650-000-VEB-0014, Delft.
- Beckers, J. & K.M. de Bruijn (2011). Analyse van Slachtofferrisico's Waterveiligheid 21e eeuw. Deltaresrapport 1204144-005, Delft.
- De Bruijn, K.M & F. Klijn (2011). Deltadijken: locaties waar deze het meest effectief slachtofferrisico's reduceren. Deltaresrapport 1202628-000-VEB-0005, Delft.
- Klijn, F., M. Kok & H. de Moel (eds.) (2012). Towards climate-change proof flood risk management. Exploration of innovative measures for the Netherlands' adaptation policy inspired by experiences from abroad. Interim report theme 1, Knowledge for Climate. Report KfC 57/2012, Knowledge for Climate, Utrecht. 192 pp.
- Kolen, B. & T. Terpstra (2012). Evacuatieschattingen Nederland en het effect van investeringen - Globale inventarisatie kosten en baten van rampenbeheersing bij overstromingen. HKV-rapport PR2330, Delft.
- Ter Maat, J., F. Klijn, R. de Koning & A. Wijbenga (2008). Compartimenteringsstudie; casestudie Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (dijkkring 43). Deltares-rapport T2513.35, Delft.
- Van de Pas, B., K. Slager, K. de Bruijn en F. Klijn (2012) Overstromingsrisicozonering Fase 1 en 2: Het identificeren van overstromingsgevaarzones. Deltaresrapport 1205160-VEB-0001.
- Van der Most, H. & F. Klijn (2013). De werking van het waterkeringsysteem: de dijkkring voorbij?. Deltaresrapport 1206262-015, Delft.