

Evacuatie over de weg bij (dreigende) overstromingen

Achtergronddocument tbv het MEGO-Advies Infrastructuur

Herman van der Most
Ben van Kester
Teun Terpstra (HKV)

1220039-006

Titel

Evacuatie over de weg bij (dreigende) overstromingen

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Module Evacuatie Grootschalige Overstromingen	1220039-006	1220039-006-VEB-0002	57

Trefwoorden

Evacuatie, maatregelen, kwetsbaarheid, hoofdwegenet

Samenvatting

Dit achtergronddocument over 'evacuatie over de weg bij (dreigende) overstromingen' is opgesteld ter ondersteuning van het MEGO-advies over de rol van de hoofdinfrastructuur bij overstromingen. De focus in dit document ligt op de inrichting, het gebruik en de robuustheid van infrastructuur van (weg)infrastructuur in de verschillende stadia rond overstromingen. Het document geeft inzicht in de gevoeligheid voor overstromingen van de hoofdinfrastructuur aan de hand van een aantal overstromingsscenario's.

Het document verkent tevens een aantal generieke maatregelen die de effectiviteit van evacuatie positief kunnen beïnvloeden en daarbij ook kunnen bijdragen aan de beperking van maatschappelijke ontwrichting ten gevolge van een overstroming. De belangrijkste effecten (kosten en baten) van de onderkende maatregelen zijn daarbij globaal geschat. De effecten en kosten afwegend is ook een beeld gevormd van de (relatieve) aantrekkelijkheid van de verschillende maatregelen.

Referenties

1220039.006

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
Conc.	sep. 2015	vdMost; vKester; Terpstra (HKV)					
Def.	nov. 2015	vdMost; vKester; Terpstra (HKV)		Van der Doef		Blom	

Status

definitief

Management samenvatting

Kader en doel

Dit achtergronddocument over 'evacuatie over de weg bij (dreigende) overstromingen' is opgesteld ter ondersteuning van het MEGO-advies over de rol van de hoofdinfrastructuur bij overstromingen. De focus in dit document ligt op de inrichting, het gebruik en de robuustheid van infrastructuur van (weg)infrastructuur in de verschillende stadia rond overstromingen. Het document geeft inzicht in de gevoeligheid voor overstromingen van de hoofdinfrastructuur aan de hand van een aantal overstromingsscenario's.

Het document verkent tevens een aantal generieke maatregelen die de effectiviteit van evacuatie positief kunnen beïnvloeden en daarbij ook kunnen bijdragen aan de beperking van maatschappelijke ontwrichting ten gevolge van een overstroming. De belangrijkste effecten (kosten en baten) van de onderkende maatregelen zijn daarbij in beeld gebracht.

Kwetsbaarheid van het hoofdwegennet

Voor verschillende (extreme) dreigingsscenario's voor kustgebied, rivierengebied en overgangsgebied is verkend in welke mate het hoofdwegennet overstroomt. De drie dreigingsscenario's laten een vergelijkbaar beeld zien ten aanzien van de kwetsbaarheid en inzetbaarheid van het hoofdwegennet. In vrijwel alle potentieel overstroomde gebieden is de verwachte waterdiepte op de weg op veel plaatsen meer dan 80 cm. Vrijwel alle hoofdwegen zijn daarmee onbruikbaar voor alle voertuigen.

Maatregelen om evacuatie te bevorderen

Er is een aantal maatregelen geïdentificeerd om evacuatie te verbeteren. De tabel laat zien in welke fase van een overstroming een maatregel effect heeft.

#	Evacuatie bevorderende maatregelen	Voor	Tijdens	Na
	Effect van maatregel in fase van overstroming:			
1	Beter voorspellen van dreigend hoogwater (eerder en/of nauwkeuriger) om betere voorwaarden te scheppen voor een evacuatiebesluit	x		
2	Robuustere wegen door structurele en/of noodmaatregelen om betere mogelijkheden te creëren voor (1) langer doorgaan met evacueren na doorbraak resp. (2) voor redding en gebiedsherstel		x	x
3	Langer doorgaan met evacueren op basis van betere dreigingsinformatie (gevaar bij stormen en aankomsttijd water na doorbraak).	x	x	
4	Sneller duiden van beter toegesneden dreigingsinformatie en op basis van die informatie sneller besluiten over evacuatie	x		
5	Risicobewustzijn en zelfredzaamheid tijdens evacuatie vergroten om sneller vertrekken en effectiever evacuatiegedrag te bevorderen	x		
6	Samen vertrekken (meer mensen per auto) stimuleren waardoor meer mensen in minder tijd het bedreigde gebied kunnen verlaten	x		
7	Zichtbaar en herkenbaar (netwerk van) evacuatielroutes ontwikkelen en bekend maken om efficiënte benutting van de infrastructuur (en ook risicobewustzijn) te stimuleren	x	x	
8	Capaciteit wegennet optimaal inzetten en behouden door bij extreme 'events' door met verkeersmanagement de gewenste verkeersafwikkeling te sturen en af te dwingen	x	x	x
9	Flexibele evacuatiestrategie (op risico toegesneden combinatie van horizontaal en verticaal evacueren) ontwikkelen om slachtofferisico zo goed mogelijk te beheersen	x	x	x
10	Capaciteit infrastructuur verruimen door aanleg van extra rijstroken en (beperkte) inzet van andere netwerken.	x		x

In de fase voor de overstroming gaat het om het effect op de evacuatiefractie: het aandeel van de mensen dat vòòr de doorbraak het bedreigde gebied kan verlaten dan wel zichzelf in veiligheid brengt. Voor het bepalen van de effecten op de evacuatiefractie zijn vier karakteristieke deelgebieden onderscheiden: Noord- en Zuid Holland (druk bevolkt kustgebied), Friesland en Groningen (landelijk kustgebied), Benedenrivierengebied (bedreigd door zowel rivierafvoer als storm in combinatie met het getijde) en het Rijngebied (afvoer gedomineerd).

Voor de fase tijdens de overstroming is gekeken naar het effect op het aantal slachtoffers onder achterblijvers in het overstroomde gebied. Daarnaast is nog gekeken naar de economische schade, wanneer een snelweg voor een bepaalde periode niet gebruikt kan worden.

Voor de onderscheiden maatregelen zijn globale schattingen (een bandbreedte) gemaakt voor de contante waarde van de kosten. Deze kosten lopen uiteen van enkele miljoenen euro tot meer dan 1 miljard euro. Maatregelen als 'Beter voorspellen' en 'Sneller duiden en beslissen' vergen relatief bescheiden investeringen, terwijl maatregelen als 'Vergroten van capaciteit' of 'Meer robuust maken van infrastructuur' aanzienlijke investeringen zullen vergen, een en ander afhankelijk van de omvang waarin de maatregelen worden getroffen.

(Relatieve) aantrekkelijkheid van maatregelen

Voor de onderscheiden maatregelen zijn de effecten in de verschillende stadia van een overstroming alsook de kosten van uitvoering van de maatregelen globaal in beeld gebracht. De effecten en kosten afwegend kan een beeld gevormd worden van de (relatieve) aantrekkelijkheid van de verschillende maatregelen. Het 'beter voorspellen van dreigend hoogwater (1)' en het 'sneller besluiten en duiden (4)' komen dan als meest aantrekkelijke maatregelen naar voren. Met relatief bescheiden investeringen wordt met deze maatregelen een duidelijk betere beheersing van het slachtofferrisico bereikt.

Wordt bij de beoordeling van de aantrekkelijkheid van de maatregelen specifiek gekeken naar de reductie van het aantal slachtoffers onder achterblijvers in het overstroomde gebied dan springt de maatregel 'Flexibele evacuatiestrategie' (9) er als meest gunstige uit, gevolgd door het 'beter voorspellen' en 'sneller besluiten'.

Inhoud

Managementsamenvatting	i
1 Inleiding	A-1
1.1 Aanleiding en kader	A-1
1.2 Afbakening en totstandkoming	A-1
1.3 Opzet van rapport / leeswijzer	A-1
2 Vraagstelling en aanpak van de studie	A-3
2.1 Doel en reikwijdte van de studie	A-3
2.2 Aanpak en uitgangspunten	A-4
3 Kwetsbaarheid van het hoofdwegennet voor overstromingen	A-5
3.1 Inleiding en achtergrond	A-5
3.2 Beschouwde dreigingsscenario's en andere overstromingsscenario's	A-5
3.3 Kwetsbaarheid van het hoofdwegennet	A-7
3.4 Potentie van aanpassing van weginfrastructuur	A-9
3.5 Vergelijking met kansrijke aanpassingen aan het wegennet uit eerdere analyses	A-12
3.6 Andere bepalende factoren voor de robuustheid van weginfrastructuur	A-13
4 Verbetering van evacuatie: maatregelen en effecten	A-16
4.1 Overzicht van evacuatie bevorderende maatregelen	A-16
4.2 Effectiviteit van maatregelen in evacuatie en slachtofferreductie	A-18
4.2.1 Methodiek voor inschatten van effecten op evacuatiefractie	A-19
4.2.2 Effect van maatregelen op evacuatiefracties	A-20
4.2.3 Effect van maatregelen op slachtoffers onder achterblijvers	A-21
4.3 Beperken van economische schade na overstroming	A-22
4.4 Kosten van maatregelen	A-23
4.5 Samenvattend overzicht van maatregelen en effecten	A-25
5 Synthese en reflectie	A-27
6 Referenties	A-1
Bijlage(n)	
A Kwetsbaarheid van hoofdwegennet voor overstromingen bij enkele extreme scenario's	A-1
B GIS analyse kwetsbaarheid wegennet & quick wins trajecten	B-1
C Effect van maatregelen op evacuatiefractie	C-1
D Achtergrondinformatie en uitgangspunten bij globale kostenschattingen	D-1
E Overzicht effecten van generieke maatregelen	E-1

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en kader

Het project Module Evacuatie Grote Overstromingen (MEGO) stelt in overleg met het Directoraat Generaal Bereikbaarheid (DGB) en Rijkswaterstaat (RWS) een advies op over de rol van de hoofdinfrastructuur bij overstromingen. Dat advies richt zich op de inrichting, het gebruik en de robuustheid van de hoofdinfrastructuur in relatie tot de verschillende stadia van een (dreigende) overstroming. Het gaat om de rol 1) bij de evacuatie vòòr de doorbraak, 2) tijdens de ontwikkeling van de overstroming en 3) in de herstelfase. Het advies beoogt te komen tot expliciete keuzes over nut en noodzaak van mogelijke maatregelen die de evacuatie verbeteren en de maatschappelijke ontwrichting beperken. Bij deze keuzes spelen de kosten van maatregelen een rol alsook de baten uitgedrukt in betere mogelijkheden voor evacuatie en redding (waardoor minder slachtoffers) en minder economische schade. Daarnaast beoogt het advies regionale maatwerk maatregelen te benoemen die een grote bijdrage kunnen leveren aan het beperken van schade en slachtoffers door een overstroming.

Ter ondersteuning van het advies is dit achtergrond document opgesteld. Dit document geeft inzicht in de gevoeligheid voor overstromingen van de hoofdinfrastructuur aan de hand van een aantal overstromingsscenario's. Daarnaast verkent dit document een aantal generieke maatregelen die de effectiviteit van evacuatie positief beïnvloeden en daarbij ook kunnen bijdragen aan de beperking van maatschappelijke ontwrichting ten gevolge van een overstroming. Dan gaat het niet alleen om maatregelen die de robuustheid van infrastructuur verbeteren, maar ook om maatregelen als tijdig beslissen om te evacueren en het aanwijzen van evacuateroutest.

1.2 Afbakening en totstandkoming

Evacuatie over de weg bij (dreigende) overstromingen vormt een breed en complex onderwerp, waarbij inzichten vanuit verschillende disciplines en werkvelden moeten worden geïntegreerd. De scope en focus van het achtergronddocument zijn gaande de studie bijgesteld en aangescherpt op basis van opgedane inzichten. Het uitgevoerde onderzoek kan dan ook worden gekenschetst als een iteratief analytisch proces. Regelmatig (voortgangs)overleg en enkele workshops / bredere overleggen hebben hieraan bijgedragen.

De studie is uitgevoerd door Ben van Kester en Herman van der Most van Deltares in het kader van het KPP-programma 'Versterking Onderzoek Waterveiligheid'. Teun Terpstra (HKV Lijn in Water) heeft een bijdrage geleverd aan de studie met het inbrengen van ervaringen uit eerdere evacuatiestudies, in het bijzonder ten aanzien van het bepalen van effecten van de verschillende maatregelen op de effectiviteit van evacuatie.

De uitvoering van de studie is begeleid door Thea Helmerhorst en Bas Kolen (vanuit MEGO) en Durk Riedstra (Rijkswaterstaat WVL).

1.3 Opzet van rapport / leeswijzer

De vraagstelling van deze studie naar evacuatie over de weg bij (dreigende) overstromingen wordt toegelicht in hoofdstuk 2. De focus in de studie ligt daarbij op de benutting en instandhouding van het hoofdwegennet in de verschillende stadia rond (dreigende) overstromingen. De aanpak en uitgangspunten worden in hoofdstuk 2 nader toegelicht.

De kwetsbaarheid van het hoofdwegennet voor overstromingen wordt besproken in hoofdstuk 3. Voor verschillende mogelijke overstromingsscenario's is onderzocht in welke mate het

hoofdwegennet overstroomt. De analyses geven inzicht in hoeverre met relatief bescheiden middelen de robuustheid van het hoofdwegennet kan worden verbeterd.

Hoofdstuk 4 presenteert een overzicht van mogelijke maatregelen die evacuatie kunnen verbeteren en beschrijft de effecten van de onderkende maatregelen. Maatregelen en effecten worden samengevat in een zogeheten effectenmatrix. Deze effectenmatrix geeft een beeld van de belangrijkste kosten en baten, en daarmee de relatieve aantrekkelijkheid van de onderscheiden maatregelen.

Het achtergronddocument wordt in hoofdstuk 5 afgesloten met een samenvatting van de bevindingen van het onderzoek en een reflectie op aanpak en uitkomsten van de onderhavige studie.

2 Vraagstelling en aanpak van de studie

2.1 Doel en reikwijdte van de studie

Scope van de studie

De dreiging van grootschalige overstromingen maakt dat Nederland zich moet voorbereiden op mogelijke evacuaties. Om de kans op slachtoffers zo klein mogelijk te houden wil de overheid bevorderen dat zo veel mogelijk mensen zich zelf tijdig in veiligheid brengen. In geval van een evacuatie uit het bedreigde gebied moeten in korte tijd grote aantallen mensen verplaatst worden via de aanwezige infrastructuur. Die infrastructuur heeft een eindige capaciteit en kan tijdens een overstroming (deels) uitvallen; een volledige evacuatie zal dan ook (bijna) nooit mogelijk zijn.

In het geval van een daadwerkelijk opgetreden overstroming is het belangrijk het redden van getroffenen en het herstel van het overstroomde gebied zo goed mogelijk te ondersteunen en daarmee maatschappelijke ontwrichting zoveel mogelijk te beperken.

Er zijn verschillende typen maatregelen mogelijk om de effectiviteit van evacuatie te vergroten. Die effectiviteit hangt af van de capaciteit en het beheer van infrastructuur, en wordt tevens bepaald door het gedrag van mensen. Met gerichte beïnvloeding van het 'evacuatiegedrag' door risico- en crisiscommunicatie kan de effectiviteit van evacuatie worden vergroot. Vergroting van de zelfredzaamheid kan daarnaast bijdragen aan een verdere beheersing van het slachtofferrisico.

Focus van het onderzoek

De focus in het onderzoek ligt op de rol en betekenis van het hoofdwegennet in de verschillende stadia rond overstromingen, en op nut en noodzaak van evt. investeringen in het vergroten van beschikbaarheid en bruikbaarheid van de infrastructuur:

- *voor de periode van dreigende overstromingen*: bieden van goede randvoorwaarden voor preventieve (horizontale) evacuatie van inwoners uit bedreigd gebied naar veilig gebied.
- *tijdens de overstroming*: bijdragen aan de beheersing van het slachtofferrisico door het zo goed mogelijk ondersteunen van redding van burgers uit het overstroomde gebied. Een robuuste infrastructuur is daarbij ook van belang voor het zo goed mogelijk afronden van lopende evacuaties die door een overstroming worden overvallen.
- *in de herstelperiode na de overstroming*: beperken van maatschappelijke ontwrichting c.q. het bevorderen van spoedig herstel door het overstroomde gebied zo snel en uitgebreid als mogelijk toegankelijk te maken.

Eventuele maatregelen in het vergroten van de beschikbaarheid en bruikbaarheid van de infrastructuur zullen worden afgewogen tegen andersoortige maatregelen die kunnen bijdragen aan de realisering van doelen in de verschillende stadia rond een overstroming. Om zo'n afweging te ondersteunen is in de studie een brede range van evacuatie bevorderende maatregelen verkend en zijn daarvan de belangrijkste effecten (kosten en baten) in beeld gebracht. Dit overzicht van maatregelen en effecten biedt een referentiekader voor de afweging van regionale maatregelen gericht op een betere beschikbaarheid en benutting van de infrastructuur.

Zicht krijgen op de kwetsbaarheid van het hoofdwegennet

Om beter zicht te krijgen op de beschikbaarheid en bruikbaarheid van de weginfrastructuur rond overstromingen is in de studie nader verkend in hoeverre de weginfrastructuur, in het bijzonder het hoofdwegennet, wordt bedreigd door overstromingen. Voor verschillende

mogelijke overstromingsscenario's is in beeld gebracht wat de omvang is van het overstromde gebied en wat de maximale waterdiepten kunnen zijn.

Deze analyses geven zicht op de bruikbaarheid van de infrastructuur in de verschillende stadia van (dreigende) overstromingen. De analyses geven ook een indicatie in hoeverre met relatief bescheiden middelen de beschikbaarheid van (weg)infrastructuur kan worden verbeterd. Informatie over de kwetsbaarheid van de weginfrastructuur kan daarnaast van belang zijn voor het ontwikkelen van gebiedsgerichte evacuatiestrategieën: een op het bedreigde gebied en de beschikbare infrastructuur toegesneden combinatie van preventieve (horizontale) en verticale evacuatie.

Generieke aanpak versus regionaal maatwerk

Voor de onderkende generieke maatregelen is een globale kostenbatenanalyse uitgevoerd. Deze analyse biedt een referentiekader voor de globale beoordeling van infrastructuur- en verkeersmanagement maatregelen in vergelijking tot andersoortige maatregelen die ook de effectiviteit van evacuatie kunnen bevorderen. Voor een nadere analyse van de aantrekkelijkheid van infrastructuur- en verkeersmanagement maatregelen in specifieke regio's is regionaal maatwerk vereist. Een dergelijke analyse valt buiten de reikwijdte van dit achtergronddocument.

2.2 Aanpak en uitgangspunten

In de analyses voor dit achtergronddocument is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van beschikbare informatie(bronnen) en studies. De aanpak en uitgangspunten van beide onderdelen wordt hieronder kort toegelicht. Binnen de randvoorwaarden van de studie is de aanpak eerder als breed dan diep te kenschetsen.

Verkenning van kwetsbaarheid van hoofdwegennet

Voor de verkenning van de kwetsbaarheid van het hoofdwegennet is gebruik gemaakt van verschillende beschikbare overstromingsscenario's. Het gaat dan in het bijzonder om de dreigingsscenario's zoals die in MEGO-kader zijn ontwikkeld en het overstromingsscenario zoals gehanteerd in de eerdere Bluespot studies. Het gaat in beide gevallen om scenario's die zijn ontwikkeld in het kader van landelijke studies. Ten aanzien van de ligging van het hoofdwegennet is in de analyses gebruik gemaakt van de informatie zoals ook benut in de Bluespot studies.

Ontwikkeling en invulling van een effectenmatrix voor generieke maatregelen

De ontwikkeling en invulling van de effectenmatrix is gericht op het inschatten van de relatieve doelmatigheid van maatregelen op basis van verschillende kosten-baten aspecten. Uitgegaan wordt van een brede inventarisatie van mogelijke maatregelen die evacuatie kunnen verbeteren.

Voor de verschillende maatregelen wordt een integrale expert inschatting van kosten en baten gemaakt op basis van (recent) beschikbare kennis onder experts en uit beleidsstudies. Voor de baten is onderscheid gemaakt in de effecten op evacuatie voor de doorbraak (in de dreigingsfase), tijdens de doorbraak (als de overstroming zich ontwikkelt) en tijdens de herstelfase. Gezien de onzekerheid bij de inschattingen worden kosten en baten geschat op basis van een beperkt aantal klassen.

De resultaten van de analyse worden samengevat in een overzichtstabel (effectenmatrix) met voor de verschillende maatregelen een inschatting van kosten, baten en neveneffecten. De onderbouwing van de inschattingen is toegelicht in de hoofdttekst en bijlagen van dit rapport.

3 Kwetsbaarheid van het hoofdwegennet voor overstromingen

3.1 Inleiding en achtergrond

Een robuuste weginfrastructuur is van essentieel belang voor het uitvoeren van een (preventieve) evacuatie. Voor besluitvorming over evacuatie is het van belang zicht te hebben op de kwetsbaarheid van het hoofdwegennet om te kunnen inschatten in hoeverre een evacuatie het gevaar loopt na een dijkdoorbraak door het water te worden overvallen. Zicht op de kwetsbaarheid van de weginfrastructuur is ook van belang voor de fase van redding en herstel om een beeld te hebben van de verwachte beschikbaarheid / bruikbaarheid van het hoofdwegennet in deze fase. Beter zicht op de kwetsbaarheid van het hoofdwegennet bij de verschillende dreigingen is tenslotte van belang bij het vaststellen wat het perspectief is om bepaalde wegtrajecten meer robuust te maken.

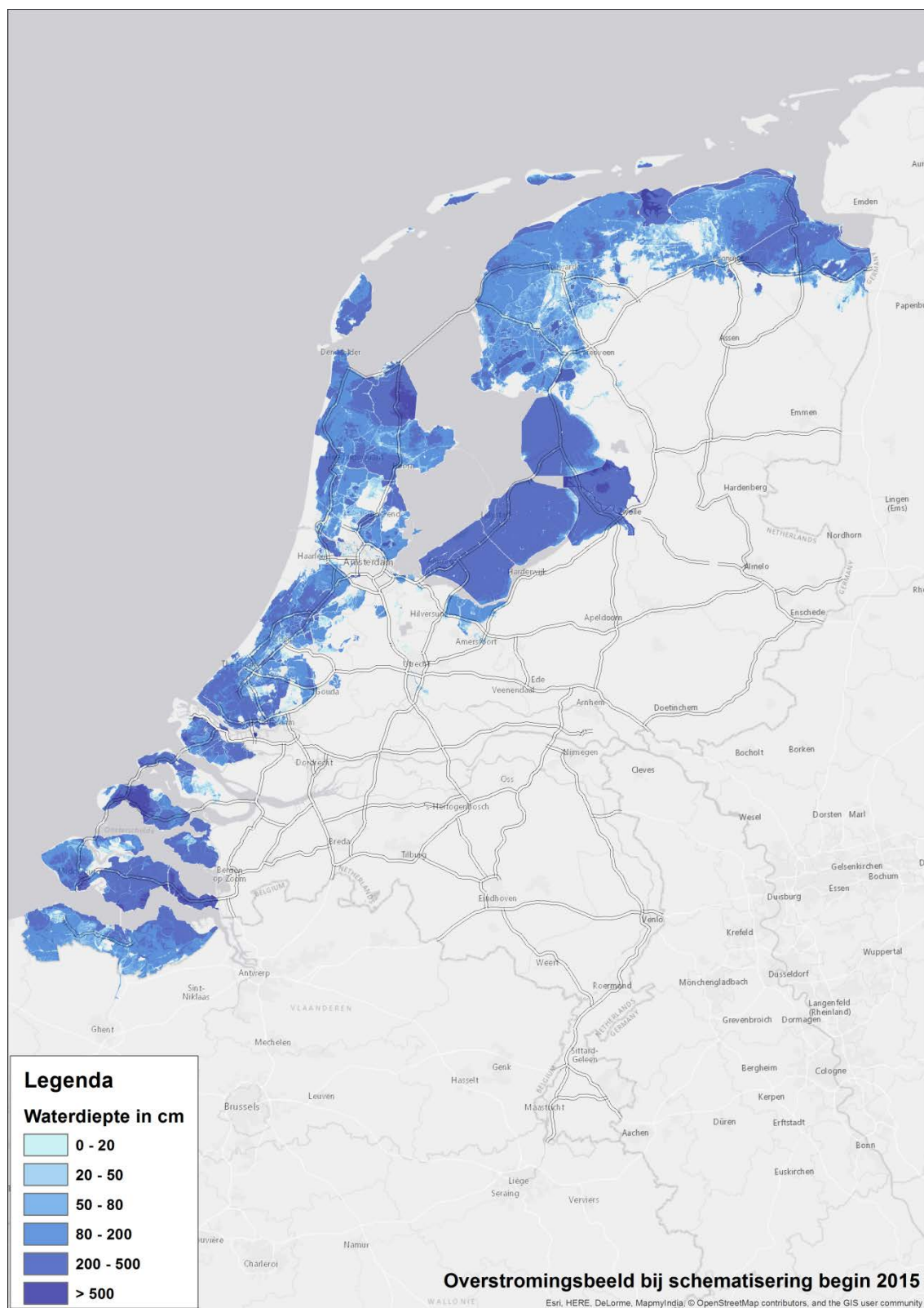
3.2 Beschouwde dreigingsscenario's en andere overstromingsscenario's

De omvang van het bedreigde gebied in geval van een dreigende overstroming is inherent onzeker. Er is een heel kleine kans op grootschalige overstromingen en een wat grotere kans op minder omvangrijke overstromingen. Een overstromingsscenario hangt af van de hydraulische omstandigheden (waterstanden en golven) en van de sterkte van waterkeringen, in het bijzonder de eventuele aanwezigheid van zwakke plekken in het stelsel van waterkeringen. Die zwakke plekken bepalen waar bressen kunnen optreden en het verloop van de hydraulische omstandigheden bepaalt hoe de overstroming zich verspreidt. Op het moment van besluiten tot wel/niet evacueren, zal veelal niet bekend zijn waar bressen in waterkeringen kunnen optreden. Daarom wordt in de fase van dreigende overstromingen rekening gehouden met alle locaties waar een bres zou kunnen optreden. De dreigingsscenario's presenteren in feite een 'omhullende' van mogelijk optredende overstromingsscenario's.

In deze studie is de kwetsbaarheid van het hoofdwegennet voor overstromingen in beeld gebracht voor een drietal extreme dreigingsscenario's. Aan de basis van deze scenario's liggen de gecombineerde scenario's met maximale waterdiepten in het 'platform basisinformatie overstromingen'. Deze scenario's zijn gebaseerd op VNK2 (Veiligheid Nederland in Kaart) en de EDO's (Ergst Denkbare Overstromingen). De EDO- en VNK2-scenario's zijn samengevoegd door voor elke locatie de maximaal voorkomende diepte uit alle beschouwde scenario's te gebruiken. De werkwijze is nader beschreven in HKV (2015). Deze scenario's worden in deze studie verder aangeduid als 'extreme dreigingsscenario's'.

Bij deze dreigingsscenario's wordt onderscheid gemaakt in een kustdreiging, rivierdreiging en een gecombineerde dreiging in het overgangsgebied. De dreiging in het overgangsgebied komt van de combinatie van een gesloten Maeslantkering (door hoge zeewaterstanden) en hoge rivierafvoeren. De zeewaterstanden en rivierafvoeren zijn in het scenario voor het overgangsgebied minder extreem dan bij het kustscenario resp. het rivierscenario, maar de combinatie kan wel aanleiding geven tot gevaarlijke situaties.

Het extreme dreigingsscenario voor het kustgebied is getoond in Figuur 3.1. Kaarten met de dreigingsscenario's voor het rivierengebied en het overgangsgebied zijn opgenomen in bijlage A. De kaarten geven een indicatie van de maximaal verwachte waterdiepten binnen het bedreigde gebied. In de loop van 2015 zijn nog nieuwe overstromingsberekeningen beschikbaar gekomen voor het sluiscomplex te IJmuiden en de c-keringen die in 2017 hun primaire status behouden. Het onderhavige project heeft zich gericht op het overstromingsbeeld behorend bij de beschikbare scenario's begin 2015.



Figuur 3.1 Maximale waterdiepten binnen bedreigd gebied bij het 'extreme' dreigingscenario voor het kustgebied (overstromingsbeeld bij schematisering begin 2015)

Naast de extreme dreigingsscenario's is nog gekeken naar de waterdieptekaart op basis van een 'meer gematigd' scenario. Hiervoor is (een eerste versie van) de risicokaart benut, zoals opgesteld in het kader van de Richtlijn Overstromingsrisico (ROR)¹. Hierbij is alleen de omhullende risicokaart gebruikt, waarin dreigingen door stormen, hoge rivierafvoeren en de combinatie van beide zijn gecombineerd tot één maximale waterdiepte kaart in plaats van een kaart per type dreiging.

Bij dit 'meer gematigde' overstromingsscenario zijn de maximale waterdieptes over het algemeen minder groot (vooral in het kustgebied) en zijn minder bressen beschouwd. De kans op een dergelijk 'meer gematigd' scenario zal wat groter zijn dan de kans op de extreme dreigingsscenario's. Nadere analyse van zo'n 'meer gematigd' scenario geeft enig zicht op de kwetsbaarheid van het hoofdwegennet bij minder extreme scenario's.

3.3 Kwetsbaarheid van het hoofdwegennet

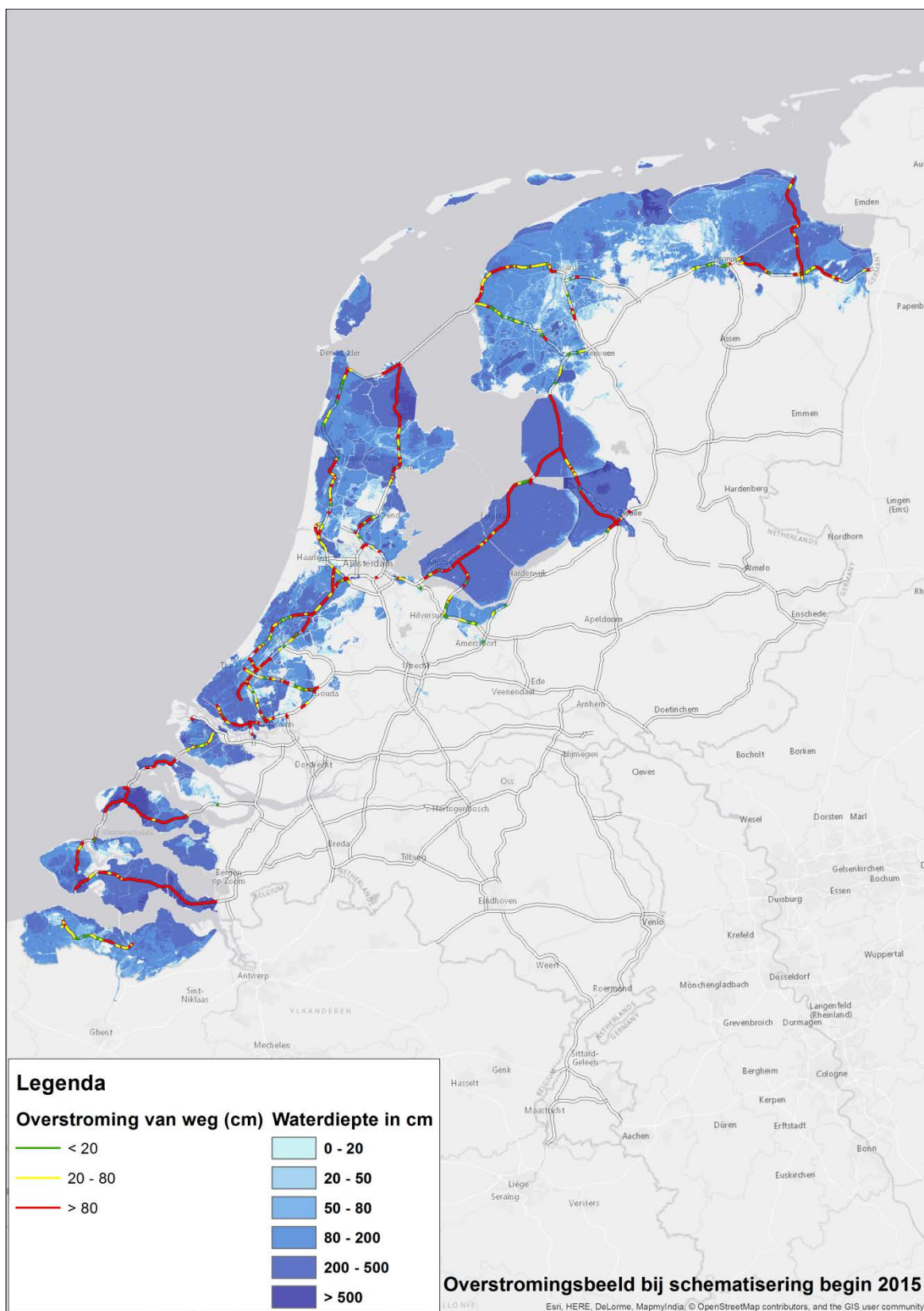
Om de kwetsbaarheid van het hoofdwegennet te bepalen zijn gegevens over de maximale waterdiepte en gegevens van het hoofdwegennet gebruikt. De weg is alleen als onbruikbaar aangemerkt wanneer er water op de weg staat. Andere oorzaken van uitval van weginfrastructuur (zoals verlies van draagkracht en stabiliteit) zijn in deze analyse buiten beschouwing gelaten.

Met behulp van een GIS-analyse is onderzocht in welke mate het hoofdwegennet overstroomt bij de verschillende dreigingsscenario's. In essentie is de toegepaste methode vergelijkbaar met eerdere kwetsbaarheidsanalyses in het kader van de Bluespot studies (Bles et al, 2012) maar dan met andere dreigingsscenario's. In de analyses is rekening gehouden met de verhoogde (of verdiepte) ligging van het weglichaam ten opzichte van het omringende maaiveld.

De berekende waterdiepten zijn, in aansluiting op de Risicokaart en eerdere analyses (Pereboom, 2013), ingedeeld in een drietal klassen: lopend van minder dan 20 cm tot meer dan 80 cm. De gekozen klassegrenzen zijn afgestemd op het mogelijk gebruik van een weggedeelte. Bij waterdieptes van minder dan 20 cm is het voor personenwagens in beginsel nog mogelijk te rijden, dieptes van 20 tot 80 cm zijn te doorkruisen door (een deel van de) hulpverleners en bij meer dan 80 cm is de weg volledig onbruikbaar. Overigens zal de bruikbaarheid van de weg ook voor waterdiepten minder dan 20 cm (zeer) beperkt zijn. De weg is niet echt zichtbaar, de gemiddelde snelheid zal laag zijn en het risico dat auto's stranden groot.

De kaart met de kwetsbaarheid van het hoofdwegennet is voor het kustscenario getoond in Figuur 3.2. De kaarten voor de beide andere dreigingsscenario's zijn opgenomen in bijlage A. Een toelichting op de gehanteerde werkwijze bij de analyse is opgenomen in bijlage B. De drie verschillende dreigingsscenario's laten een vergelijkbaar beeld zien ten aanzien van de kwetsbaarheid en inzetbaarheid van het hoofdwegennet. In vrijwel alle potentieel overstroomde gebieden is de verwachte waterdiepte op de weg op veel plaatsen meer dan 80 cm. Vrijwel alle hoofdwegen zijn daarmee volledig onbruikbaar voor alle voertuigen.

¹ Het betreft de waterdieptekaart die eerder in de Bluespot-studies is benut



Figuur 3.2 Kwetsbaarheid van hoofdwegenet voor overstromingen bij het extreme scenario voor het kustgebied (overstromingsbeeld bij schematisering begin 2015)

Op verschillende plekken laat de kaarten rode 'stippen' zien met een grote waterdiepte van meer dan 80 cm. Het gaat daarbij veelal om tunnels, bijvoorbeeld in Friesland en die onder het Noordzeekanaal. Bij de overstromingsgevoeligheid van tunnels is onderscheid te maken tussen tunnels die op de grens van een dijkkringgebied liggen ('buitenwater' kruisen) en tunnels die binnen een dijkkring zijn gelegen. Bij de eerste categorie zijn veelal kanteldijken aanwezig die de overstromingsgevoeligheid beperken; voor tunnels binnen een dijkkring is dat doorgaans niet het geval. De tunnels die binnen een dijkkring zijn gelegen kunnen zonder maatregelen uitvallen bij een grootschalige overstroming. Dat geldt overigens ook voor de toegangswegen naar de tunnels.

Voor het 'meer gematigd' overstromingsscenario (zie par. 3.2) is een vergelijkbare analyse uitgevoerd als voor het extreme scenario. Bij de waterdieptes van dit scenario verandert het beeld van kwetsbaarheid (zie Figuur 3.3): er vallen nog steeds veel wegen uit, maar in mindere mate en met beperktere waterdieptes op de weg.

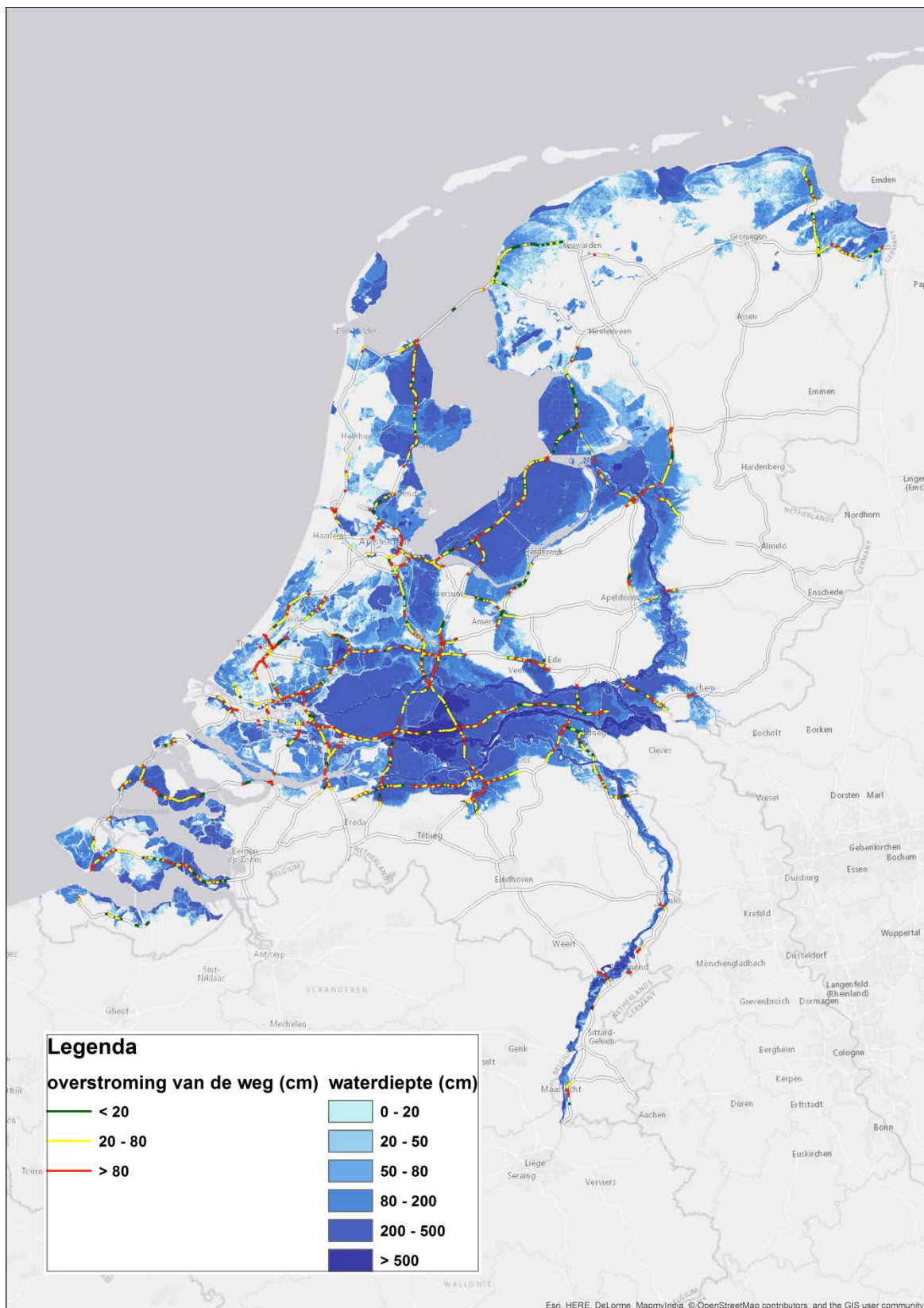
3.4 Potentie van aanpassing van weginfrastructuur

De uitkomsten van de analyse van de kwetsbaarheid van het hoofdwegennet bij verschillende dreigingsscenario's vormen de basis van een verkenning van de potentie van aanpassing van de weginfrastructuur om beter bestand te zijn tegen overstromingen.

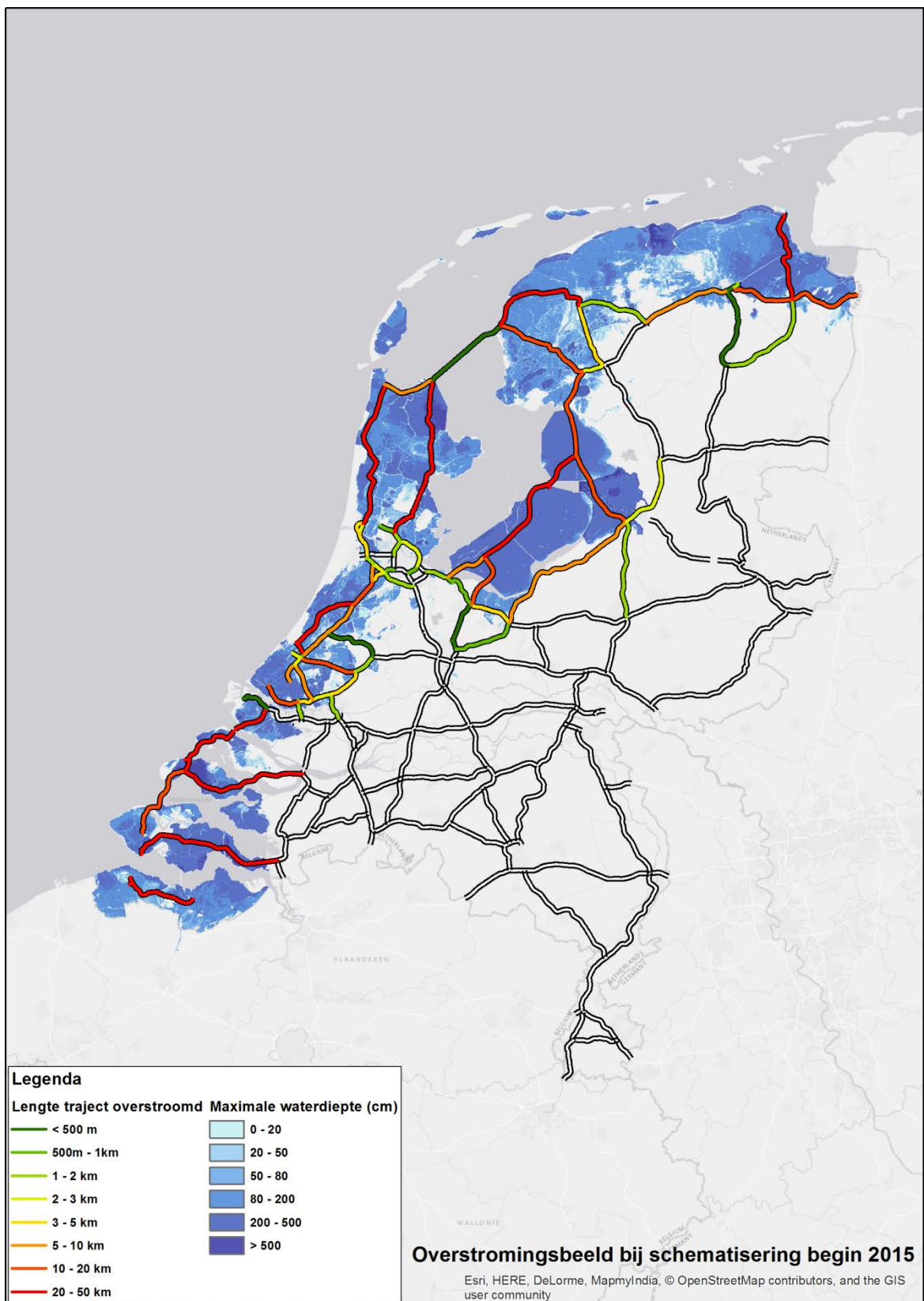
De benodigde investeringen voor een robuuster hoofdwegennet bij overstromingen zullen aanzienlijk zijn. Gezien de geringe kans van optreden van de dreigingsscenario's wordt het weinig aannemelijk geacht dat fors geïnvesteerd zal worden in het hoofdwegennet met als enige doel het robuuster maken tegen overstromingen. In de verkenning is daarom gezocht naar trajecten binnen het wegennet waarbij slechts een beperkt aantal kilometers in beperkte mate overstroomt. Trajecten zijn hierbij gedefinieerd als delen van het hoofdwegennet, die verkeersknooppunten verbinden. De kaarten laten zien over welke lengten aanpassing van de weg nodig is om deze robuust(er) te maken.

De resultaten voor het extreme dreigingsscenario zijn voor het kustgebied getoond in Figuur 3.4. Bij de analyses is voor de definitie van 'overstroomd' uitgegaan van een overstroming met meer dan 1 cm. Voor het kustscenario is nog onderzocht in hoeverre het beeld wijzigt wanneer het criterium wordt opgerekt naar 20 resp. 50 cm. Zo'n ander criterium leidt hier en daar tot een aanpassing, maar het globale beeld verandert er niet door.

In alle dreigingsscenario's is er het meeste perspectief voor aanpassing aan de randen van het bedreigd gebied c.q. bij de hoge gronden. Voor die trajecten geldt veelal dat de overstroming beperkt blijft tot enkele kilometers van het traject. Daarbij moet wel worden aangetekend dat juist de randen gevoelig zijn voor de precieze invulling van de scenario's. Een kleine verandering in de scenario's kan in deze gebieden leiden tot een ander beeld.



Figuur 3.3 Kwetsbaarheid van het hoofdwegennet voor overstromingen bij een 'meer gematigd' overstromingsscenario



Figuur 3.4 Overstromingsgevoeligheid van wegtrajecten van het kustgebied bij een extreem dreigingsscenario (overstromingsbeeld bij schematisering begin 2015)

3.5 Vergelijking met kansrijke aanpassingen aan het wegennet uit eerdere analyses

In het kader van eerdere kwetsbaarheidsanalyses (Pereboom, 2013) zijn enkele zogeheten 'Quick Wins' in beeld gebracht bij het 'meer gematigde' overstromingsscenario. 'Quick Wins' zijn gedefinieerd als trajecten waarvan de beschikbaarheid kan worden vergroot wanneer lokale knelpunten worden weggenomen. De Quick Win trajecten zijn opgenomen in Tabel 3.1. In de tweede kolom van de tabel is een nadere duiding van de overstromingssituatie gegeven bij het 'meer gematigde' overstromingsscenario.

Voor de betreffende trajecten is nagegaan of deze bij de 'extreme' dreigingsscenario's nog steeds als Quick Win kunnen worden aangemerkt. Die check (3^e kolom) laat zien dat de Quick Wins goeddeels wegvallen. De waterdiepten in bedreigd gebied bij de dreigingsscenario's op basis van VNK & EDO zijn vooral in het kustgebied (een stuk) groter dan de waterdiepten waarvan is uitgegaan bij de Bluespot analyses.

Tabel 3.1 Quick wins vanuit de Bluespot studies in het licht van de beschouwde extreme dreigingsscenario's

Traject:	Quick Win bij 'meer gematigd' overstromingsscenario	Beeld bij extreme dreigingsscenario's
A44 – afslag 4 – afslag 2	1 km tot 80 cm	Meerdere km > 80cm –
A12 – PKP – afslag 9	2 km tot 80 cm	Meerdere km > 80cm –
Voorne Putten N57	Ja – bij gebied verlaten	Meerdere km in enigermate overstroomd
Hoeksche Waard A29	Ja – bij gebied verlaten	Meerdere km in enigermate overstroomd
Goeree Overflakkee N498	Ja – bij gebied verlaten	Meerdere km in enigermate overstroomd
A18 – nabij Doetinchem	Ja – tot 80 cm water	Meerdere km in enigermate overstroomd
A50 – boven Apeldoorn	Tot 80 cm	Meerdere km in enigermate overstroomd
A28 – Noord van Zwolle	Kort stuk niet beschikbaar voor militaire voertuigen	Meerdere km > 80 cm

De analyse laat zien dat alle eerder - bij een 'meer gematigd' scenario - geïdentificeerde 'Quick Wins' wegvallen bij een extreem dreigingsscenario. Die bevinding vormt ook een aanwijzing dat effectieve aanpassingen voor een robuuster hoofdwegennet pas in beeld komen bij de trajecten / gebieden waar problemen door wateroverlast c.q. overstromingen weliswaar een geringere omvang hebben, maar wel een wat grotere kans van optreden.

3.6 Andere bepalende factoren voor de robuustheid van weginfrastructuur

Het Nederlandse hoofdwegennet is voor een groot deel verhoogd (t.o.v. maaiveld) aangelegd. In het voorgaande is de kwetsbaarheid van de weginfrastructuur geduid in relatie tot de maximale waterdiepten van de drie beschouwde dreigingsscenario's. In de fase direct na de doorbraak en in de herstelfase wordt de bruikbaarheid van de weginfrastructuur verder bedreigd door enkele (faal)mechanismen. Het belangrijkste faalmechanisme in de fase direct na doorbraak is de verweking van het weglichaam. Het belangrijkste faalmechanisme in de herstelfase is afschuiving van taluds. Dit stabiliteitsverlies is groter naarmate het talud hoger is en de taludhelling steiler en wordt versterkt door het snel wegpompen of afvloeien van het water. Er hebben zeer conservatieve berekeningen plaatsgevonden om vast te stellen of de stabiliteit van het weglichaam voldoende is. Deze analyses laten zien dat op zeer veel locaties de weg instabiel zal zijn, waardoor naar verwachting geen trajecten beschikbaar zijn vanaf het moment dat water aan de weg staat. De tijd tussen doorbraak en het moment dat water aan de weg staat benutten, zou de beschikbare tijd voor evacuatie kunnen vergroten. Als voorbeeld wordt de kwetsbaarheid van het hoofdwegennet voor de *herstelfase* in beeld gebracht in Figuur 3.5. Deze kaart hoort bij een 'meer gematigd' overstromingsscenario op basis van een eerste versie van de waterdieptekaart in het kader van de ROR. De kaart laat zien dat de kans op uitval van- en schade aan het hoofdwegennet na grootschalige overstromingen groot zal zijn.

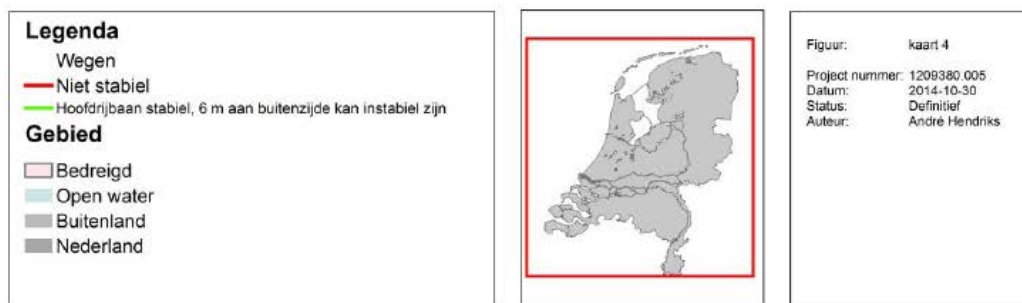
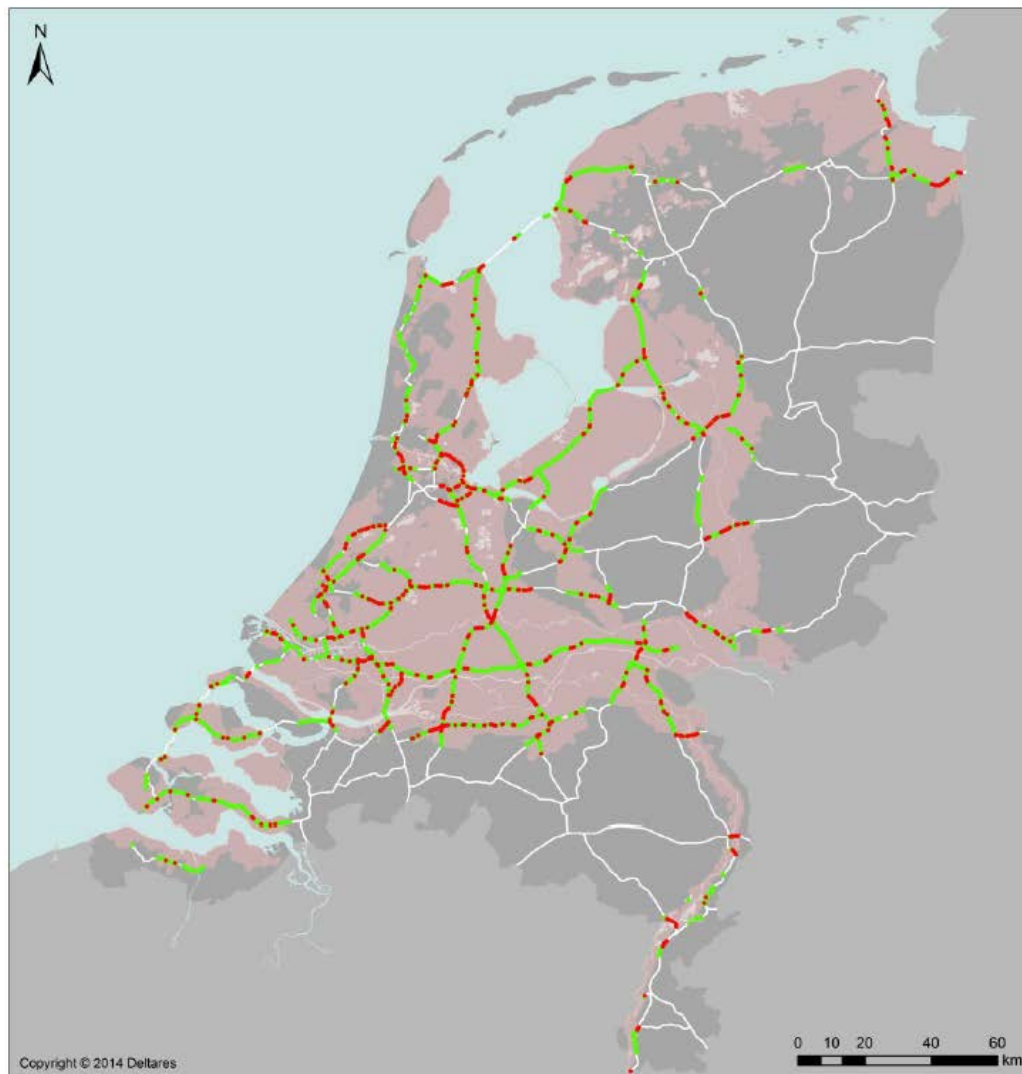
Naast de rijstroken zelf zijn er veel speciale objecten rond het hoofdwegennet, die de bruikbaarheid van het wegennet bepalen. Voor deze objecten is in "Verdiept inzicht in de beschikbaarheid van het hoofdwegennet tijdens evacuaties" – Deltares – 1209380-005 een overzicht opgenomen van de belangrijkste faalmechanismen en faalkansen, en een inschatting van de gevolgen. Aan de beschouwde objecten (tunnels, aquaducten, kruisende tunnels / onderdoorgangen, bruggen, EPS constructies, schuimbeton, duikers en paalmatrassystemen) is per fase een kwetsbaarheidsindicatie toegekend (zie Tabel 3.2 voor een voorbeeld voor tunnels). Conclusie is dat de speciale objecten allemaal kwetsbaar zijn voor overstromen, zodat naast instabiliteit van het weglichaam zelf, ook het grote aantal speciale objecten voor schade aan het weglichaam kan zorgen.

Er zijn in beginsel maatregelen mogelijk om het hoofdwegennet langer te gebruiken en langer beschikbaar te maken. Hierbij kan gedacht worden aan waterkerende constructies en het verhoogd aanleggen van wegen met flauwe taludhellingen. Ook kunnen speciale objecten aangepast worden om de weg robuuster te maken.

Kwetsbaarheid hoofdwegennet

Deltares

Beoordeling stabiliteit van rijkswegen - herstelfase, 6m schadestrook



Bron: Kwetsbaarheid weglichamen tijdens en na overstromen, Deltares – 1209380, 2014

Figuur 3.5 Kwetsbaarheid van hoofdwegennet in herstelfase (Bluespot-studies)

Tabel 3.2 Samenvatting van kwetsbaarheid van tunnels voor overstromingen

Speciaal object	Faalmechanismen			Effect voor weggebruik
	Acute fase		Herstelfase	
	omschrijving	Kans (gegeven dat overstroming plaatsvindt)	omschrijving	
Tunnel onder waterkering, opgenomen binnen kanteldijken	Bij falen of overstromen van kanteldijken loopt de tunnel vol	Klein	Herstel tunneltechnische installaties en constructie kan weken tot maanden duren. Een zinktunnel is waarschijnlijk onherstelbaar beschadigd.	Weg is onbruikbaar
	Volstromen door uitval stroomvoorziening pompkelder, een tot drie dagen na stroomuitval (bij werkend nood aggregaat)	Reëel		Weg is onbruikbaar
	Opdrijven toeritten, met name folieconstructies zijn kwetsbaar	Steeds reëler, naarmate de overstroming hogere waterstanden bereikt en langer duurt.		Weg is onbruikbaar
	Onveilig gebruik door uitval ventilatie en verkeersmanagement na stroomuitval	Reëel		Na herstel stroomvoorziening weer direct bruikbaar
Landtunnel / tunnel zonder kanteldijken	Als omliggende gebied overstroomt	Groot	Relatief snel weer in gebruik te nemen na droogvallen. Herstel van TTI's kan weken tot maanden vergen.	Weg is onbruikbaar
	Volstromen door uitval stroomvoorziening pompkelder (bij landtunnels alleen als tunnel verdiept is aangelegd)	Reëel		Weg is onbruikbaar
	Onveilig gebruik door uitval ventilatie en verkeersmanagement na stroomuitval	Reëel		Na herstel stroomvoorziening weer direct bruikbaar

Bron: "Verdiept inzicht in de beschikbaarheid van het hoofdwegennet tijdens evacuaties"
Deltares – 1209380-005, 2014

4 Verbetering van evacuatie: maatregelen en effecten

Voor het verbeteren van evacuatie zijn verschillende maatregelen geïdentificeerd. Een deel van de maatregelen draagt ook bij aan betere mogelijkheden voor redding en/of bevordert een sneller herstel. De onderkende maatregelen worden in dit hoofdstuk besproken met de effecten ervan in de periode voor, tijdens en/of na een overstroming. Tevens worden de kosten van maatregelen globaal geschat. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een samenvattend overzicht van maatregelen met hun effecten. Dit overzicht geeft een beeld van de (relatieve) aantrekkelijkheid van maatregelen.

4.1 Overzicht van evacuatie bevorderende maatregelen

Maatregelen die beschikbare tijd voor evacuatie vergroten

De *beschikbare* tijd voor evacuatie, de tijd tussen de onderkenning van een dreigende overstroming en het (verwachte) moment van doorbraak, staat niet vast. Door een dreiging eerder te voorspellen en onderkennen kan de beschikbare tijd voor evacuatie en daarmee de effectiviteit worden vergroot. In dat verband is ook een bestuurlijke duiding van de voorspelde dreiging van belang.

Het is overigens de vraag of eerdere voorspellingen daadwerkelijk benut zullen worden om meer tijd voor evacuatie te creëren of dat de voorspellingen vooral zullen worden benut om betrouwbaardere dreigingsinformatie te creëren voor het besluit al dan niet te evacueren.

Kennis van (lokale) omstandigheden kan aanleiding geven langer door te evacueren. Wanneer het na een doorbraak nog een aantal (meer dan twee) dagen duurt voordat het water een bepaald gebied bereikt, kan deze informatie over aankomsttijd in sommige gevallen benut worden om een evacuatie langer door te zetten of meer gefaseerd te laten verlopen. Deze situatie doet zich overigens slechts in een beperkt aantal gebieden voor (zie ook bijlage C.3).

Infrastructuur kan in beginsel worden aangepast op langer door evacueren na een doorbraak. Door de overstromingsgevoeligheid van wegen en tunnels te verkleinen kan een weg ook na doorbraak beter en langer beschikbaar blijven. Hierdoor neemt de kans af dat een evacuee op de weg door overstromingen wordt getroffen. Noodmaatregelen zoals mobiele schermen of tijdelijke bruggen over laaggelegen knelpunten en bij tunnels kunnen lokaal bijdragen aan een langere beschikbaarheid van wegtrajecten.

Maatregelen die benodigde tijd voor evacuatie verkleinen

Er zijn verschillende maatregelen mogelijk die ervoor zorgen dat er minder tijd nodig is voor een grootschalige preventieve evacuatie. Zo kan nadat een dreiging is onderkend sneller een besluit tot evacueren worden genomen. Wanneer besluitvorming minder tijd vergt, blijft meer tijd over voor de voorbereiding en uitvoering van een evacuatie. Heldere informatie over de dreiging, een goede organisatorische structuur en duidelijke afspraken tussen bestuurders kunnen hierbij helpen.

De benodigde tijd voor evacuatie kan ook worden teruggedrongen door burgers zo te informeren dat ze gestimuleerd worden beter evacuatiegedrag te vertonen. Crisis- en risicocommunicatie kunnen bevorderen dat mensen sneller vertrekken of dat ze efficiënter rijgedrag vertonen. Door burgers op een evacuatieboodschap voor te bereiden en te vertellen wat er van hen verwacht wordt en wat de (on)mogelijkheden zijn, zullen ze sneller beginnen en beter evacueren. Zo kan de wegcapaciteit langer en efficiënter worden ingezet met een

grotere kans op een hogere evacuatiefractie. De druk op de capaciteit van infrastructuur kan afnemen wanneer de gemiddelde bezetting van een auto bij evacueren toeneemt.

De aanleg van evacuateroutes die goed zichtbaar zijn en als zodanig herkend worden, kan de effectiviteit van evacuatie bevorderen. De routes en informatie over het gebruik ervan, kunnen zorgen voor een meer risicobewuste burger die weet wat te doen in geval van een calamiteit, ook zonder nadere instructies van de overheid. Ook kan het onderliggende wegennet gerichter op het hoofdwegennet worden afgestemd vanuit het perspectief van evacuatie.

De benodigde tijd kan ook verkleind worden door een betere inzet van de aanwezige wegcapaciteit met behulp van verkeersmanagement. Het gaat daarbij om het optimaal verdelen van weggebruikers over de beschikbare capaciteit. Voorbeelden van verkeersmanagement zijn het spreiden van verkeer in tijd en ruimte, het adviseren over te volgen routes en het goed koppelen van het hoofdwegennet en onderliggende wegennet, bijvoorbeeld door een beperkte toegang. Ook het tijdelijk anders inzetten van infrastructuur valt hieronder. Gedacht kan worden aan de inzet van spits- en vluchtstroken en bijvoorbeeld het dubbel door de bocht gaan. Dynamische Route Informatiepanelen (DRIP's) kunnen de evacuees ook tijdens een overstroming informeren over te kiezen routes.

De benodigde tijd voor evacuatie is ook in enige mate terug te brengen door het uitbreiden van de beschikbare weginfrastructuur of door het inzetten van andere netwerken (zoals water- en spoorwegen). Bestaande snelwegen kunnen worden aangepast met bijvoorbeeld extra vlucht- en spitsstroken.

De benodigde tijd voor preventieve (horizontale) evacuatie kan ook worden verkleind met een evacuatiestrategie in combinatie met verticaal evacueren. Hierbij worden keuzes gemaakt over het al dan niet preventief evacueren van bepaalde groepen of locaties. Zo kan ervoor gekozen worden om mensen in gebieden die naar verwachting snel of diep overstromen preventief te evacueren. Mensen buiten dit risicogebied evacueren dan verticaal in de eigen woning of in shelters binnen het bedreigde gebied. Het doel van een dergelijke strategie is het maximaal benutten van de beschikbare tijd. Door een evacuatiestrategie waarin verticaal evacueren is opgenomen kan de totale evacuatieopgave worden aangepast aan de mogelijkheden. Zo wordt de preventieve evacuatie opgave haalbaar (gemaakt) en wordt het totale risico geminimaliseerd.

Maatregelen die resterend risico voor achterblijvers verkleinen

Wanneer een volledige preventieve evacuatie onmogelijk is of de oproep tot evacueren weinig gehoor krijgt, zal er tijdens een overstroming sprake zijn van achterblijvers in het gebied. Het risico voor achterblijvers kan zo klein mogelijk worden gemaakt door hun zelfredzaamheid te vergroten, zodat ze bijvoorbeeld noodpakketten in huis hebben en primaire levensbehoeften verplaatsen naar een waterveilige locatie.

Naast het vergroten van de zelfredzaamheid kan risico- en crisiscommunicatie bevorderen dat burgers meer gevolg geven aan een oproep tot evacueren. Dit is vooral nuttig in gebieden waar een oproep tot preventieve evacuatie zonder aanvullende communicatie weinig gehoor krijgt van burgers terwijl er in beginsel voldoende tijd en capaciteit is om (extra) mensen het gebied te doen verlaten.

Samenvattend overzicht van geïdentificeerde maatregelen

De hiervoor beschreven maatregelen zijn samengevat in Tabel 4.1. Per maatregel is tevens aangegeven in welke fase(n) een effect is voorzien.

Tabel 4.1 Overzicht van evacuatie bevorderende maatregelen met een aanduiding in welke fase de maatregel naar verwachting effect heeft

#	Evacuatie bevorderende maatregelen	Effect van maatregel in fase van overstroming:		
		Voor	Tijdens	Na
1	Beter voorspellen van dreigend hoogwater (eerder en/of nauwkeuriger) om betere voorwaarden te scheppen voor een evacuatiebesluit	x		
2	Robuustere wegen door structurele en/of noodmaatregelen om betere mogelijkheden te creëren voor (1) langer doorgaan met evacueren na doorbraak resp. (2) voor redding en gebiedsherstel		x	x
3	Langer doorgaan met evacueren op basis van betere dreigingsinformatie (gevaar bij stormen en aankomsttijd water na doorbraak).	x	x	
4	Sneller duiden van beter toegesneden dreigingsinformatie en op basis van die informatie sneller besluiten over evacuatie	x		
5	Risicobewustzijn en zelfredzaamheid tijdens evacuatie vergroten om sneller vertrekken en effectiever evacuatiegedrag te bevorderen	x		
6	Samen vertrekken (meer mensen per auto) stimuleren waardoor meer mensen in minder tijd het bedreigde gebied kunnen verlaten	x		
7	Zichtbaar en herkenbaar (netwerk van) evacuatielroutes ontwikkelen en bekend maken om efficiënte benutting van de infrastructuur (en ook risicobewustzijn) te stimuleren	x	x	
8	Capaciteit weggengnet optimaal inzetten en behouden door bij extreme 'events' door met verkeersmanagement de gewenste verkeersafwikkeling te sturen en af te dwingen	x	x	x
9	Flexibele evacuatiestrategie (op risico toegesneden combinatie van horizontaal en verticaal evacueren) ontwikkelen om slachtofferrisico zo goed mogelijk te beheersen	x ^{*)}	x	x
10	Capaciteit infrastructuur verruimen door aanleg van extra rijstroken en (beperkte) inzet van andere netwerken.	x		x

*) De grote winst van de maatregel 'flexibele evacuatiestrategie' zit in een geringer aantal slachtoffers onder achterblijvers omdat mensen eerder een veilig heenkomen zoeken binnen het bedreigde gebied (zie ook par C.9 van bijlage C).

4.2 Effectiviteit van maatregelen in evacuatie en slachtofferreductie

Uitvoering van de onderkende maatregelen is erop gericht dat meer mensen het door een overstroming bedreigde gebied kunnen verlaten dan wel zichzelf binnen het bedreigde gebied tijdig in veiligheid brengen. Dit effect van maatregelen wordt uitgedrukt in de evacuatiefractie. De evacuatiefractie is de verwachtingswaarde van het aandeel mensen dat vòòr een doorbraak van een waterkering het bedreigde gebied kan verlaten dan wel zichzelf in veiligheid brengt.

Maatregelen kunnen ook andere effecten hebben, die niet in de evacuatiefractie uitgedrukt kunnen worden. Bijvoorbeeld effecten op de mogelijkheden om mensen te redden die zijn achtergebleven, de mogelijkheden voor gebiedsherstel, en de mogelijkheden om overstromingsschade te voorkomen.

4.2.1 Methodiek voor inschatten van effecten op evacuatiefractie

De effecten van de verschillende maatregelen worden beschouwd voor een viertal verschillende deelgebieden:

- Noord- en Zuid Holland: dicht bevolkt kustgebied dat bedreigd kan worden door storm op de Noordzee;
- Friesland en Groningen: landelijk kustgebied dat bedreigd kan worden door storm op de Noordzee/Waddenzee;
- Benedenrivierengebied: getijdengebied dat bedreigd kan zijn door een combinatie van een hoge rivierafvoer en storm op de Noordzee; en
- het Rijngebied: dreiging door hoge rivierafvoer.

De verschillende karakteristieken van deze gebieden zijn van invloed op de beschikbare resp. de benodigde tijd voor evacuatie. De beschikbare tijd wordt met name bepaald door de voorspelhorizon (bij storm is deze voorspelhorizon korter dan bij hoge rivierenafvoeren). De benodigde tijd wordt met name bepaald door de bevolkingsdichtheid en de wegcapaciteit. Analyse van de maatregelen voor de vier gebieden, geeft enig inzicht in de effectiviteit onder verschillende omstandigheden. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van deze gebieden verwijzen we naar Maaskant et al. (2009).

De evacuatiefracties voor de referentiesituatie worden ontleend aan de studie Evacuatie schattingen Nederland – addendum (Kolen et al. 2013). Aan die evacuatiefracties ligt een aantal uitgangspunten ten grondslag (Maaskant et al. 2009 en Kolen et al. 2013):

- De evacuatiefractie is gebaseerd op de combinatie van beschikbare tijd en benodigde tijd waarbij door middel van verschillende evacuatiescenario's (variërend van een gunstige tot een ongunstige uitvoering) rekening is gehouden met de onzekerheid hierin.
- Voor de beschikbare tijd is rekening gehouden met een kans op onverwachte gebeurtenissen van 10%. Voor het benedenrivierengebied in geval van een zee-dreiging is een hogere kans (30%) op onverwachte gebeurtenissen meegenomen vanwege de kortere periode van windopzet en de kans op falen van de Maeslantkering.
- Er is verondersteld dat een evacuatie nooit eerder zal starten dan de tijd die hiervoor nodig is, in het geval dat er al eerder zicht is op een mogelijke overstroming zal een bestuurder nog zolang mogelijk wachten gezien de grote impact van een evacuatie.
- In geval van een dreiging veroorzaakt door storm is er rekening mee gehouden dat in de laatste 24 uur voor de doorbraak geen evacuatie zal plaatsvinden. Voor het merengebied is dat 6 uur.
- Bij de inschatting van de kansverdeling van de beschikbare tijd is rekening gehouden met de voorspelbaarheid van dreigende overstromingen en met de benodigde tijd voor besluitvorming over een evacuatie.
- De benodigde tijd voor evacueren is per deelgebied ingeschat met evacuatiemodellen waarin de grotere wegen (hoofdwegen en belangrijke doorgaande wegen) zijn meegenomen, de bevolkingsdichtheid is meegenomen en waarbij rekening is gehouden met de evacuatiemogelijkheden naar omliggende gebieden. Hierbij is rekening gehouden met een gunstige, gemiddelde en ongunstige uitvoering.
- Er is rekening gehouden met een non response factor, dit is een percentage van de inwoners dat niet preventief zal evacueren. Voor het kustgebied is deze ingeschat op 20% op basis van een enquête in Nederland en ervaringen bij Katrina. Voor het rivierengebied waarin in 1995 een grotere groep is geëvacueerd is 10% aangenomen.

- Verondersteld is dat mensen na een besluit tot evacueren niet allemaal tegelijk vertrekken. Er is een vertrekcurve gehanteerd waarin mensen binnen 16 uur vertrekken.

De effecten van de verschillende maatregelen zijn in meer detail uitgewerkt in bijlage C. Hierbij is, waar mogelijk, het effect op de evacuatiefractie in een tabel weergegeven en worden eventuele (neven)effecten in de tekst beschreven. Per maatregel wordt in bijlage C toegelicht hoe deze zijn 'gemodelleerd'.

Het effect op de evacuatiefractie wordt weergegeven in procenten met bandbreedtes die zijn afgerond op 5-tallen. Tevens wordt een duiding gegeven aan het verschil in effect tussen de onderscheiden gebieden.

4.2.2 Effect van maatregelen op evacuatiefracties

De geschatte effecten op de evacuatiefractie van de verschillende maatregelen per deelgebied zijn samengevat in Tabel 4.2

Tabel 4.2 Effect van maatregelen op evacuatiefractie (per deelgebied)

Maatregelen	Evacuatiefracties voor de verschillende deelgebieden in referentiesituatie en na uitvoering van de verschillende maatregelen (%)			
	Noord- en Zuid-Holland	Friesland en Groningen	Beneden rivierengebied	Rijngebied
Referentiesituatie ('huidige situatie')	15	42	12	76
1. Beter voorspellen dreigend hoogwater	25-30	55-60	15-20	80-85
2. Robuustere wegen (2.1 structureel / 2.2 nood)	15-20	40-45	10-15	75-80
3. Langer door blijven evacueren:	15-20	40-45	10-20	75-80
4. Sneller duiden en besluiten	25-30	55-60	15-20	80-85
5. Sneller vertrekken & beter evacuatiegedrag	20-25	45-50	15-20	75-80
6. Samen vertrekken (meer mensen/auto)	20-25	55-60	15-20	85-90
7. Zichtbare en herkenbare evacuateroutes	15-20	40-45	10-15	75-80
8. Verkeersmanagement 'extreme events'	15-20	45-50	20-25	75-80
9. Flexibele evacuatiestrategie*)	15-20	40-45	10-15	75-80
10. Capaciteit infrastructuur verruimen	15-20	45- 50	10-15	80 – 90

*) Voor de maatregel flexibele evacuatiestrategie geldt dat deze maatregel niet echt effect heeft op de evacuatiefractie. De grote winst van deze maatregel zit in een geringer aantal slachtoffers onder achterblijvers

4.2.3 Effect van maatregelen op slachtoffers onder achterblijvers

Voor de onderscheiden maatregelen is de effectiviteit in het verbeteren van de evacuatie uitgedrukt in een toename van de evacuatiefractie. Deze evacuatiefractie vormt een betrekkelijk abstracte maat om de effectiviteit van maatregelen te duiden. Het effect op de evacuatiefractie kan verder worden vertaald in het effect op het verwachte aantal slachtoffers in geval van een overstroming. Een grotere evacuatiefractie betekent een geringer aantal achterblijvers, dat slachtoffer kan worden van overstroming. In hoeverre er minder slachtoffers vallen hangt naast de toename van de evacuatiefractie ook af van het aantal bewoners van het overstromde gebied.

Voor een inschatting van het effect op het aantal slachtoffers is inzicht nodig in het aantal achterblijvers en in de verwachte mortaliteit van de achterblijvers. Die mortaliteit zal afhankelijk zijn van verschillende factoren, zoals waterdiepte, stijgsnelheid van het water, nabijheid van geschikte vluchtplaatsen, etc. In het kader van deze studie gaat het om een globale inschatting. Voor de inschatting wordt, aansluitend bij Jonkman² (2003), voor het kustgebied uitgegaan van een mortaliteit van 0,22 % en voor het rivierengebied van 0,56 %.

In geval van een overstroming zal naar verwachting niet het volledige beschouwde gebied overstromen, maar slechts een deel ervan. Voor de inschatting van het effect op slachtoffers onder achterblijvers is ervan uitgegaan dat zo'n 20 % van het gebied daadwerkelijk overstroomt.

Met bovengenoemde uitgangspunten en aannamen is berekend hoeveel minder slachtoffers er vallen onder achterblijvers in geval van een overstroming. De analyses zijn uitgevoerd voor de vier beschouwde deelgebieden: Noord- en Zuid-Holland, Friesland-Groningen, het bovenrivierengebied van de Rijn en het benedenrivierengebied.

Tabel 4.3 presenteert het overzicht van het berekende effect per type maatregel. Afhankelijk van het type maatregel gaat het om enkele tientallen tot enkele honderdtallen minder slachtoffers onder achterblijvers vergeleken met de referentiesituatie zonder uitvoering van de maatregel. Uitzondering hierop is de maatregel 'flexibele evacuatiestrategie'. Aansluitend op de bevindingen van de studie 'Effect van de maatregel 'verticaal evacueren' (Kolen, 2013 en Klijn et al., 2014) is verondersteld dat het aantal slachtoffers onder achterblijvers halveert (zie ook par C.9 van bijlage C). De reductie in het aantal slachtoffers onder achterblijvers bedraagt bij deze maatregel meer dan duizend.

Bij de beoordeling van deze effecten moet worden bedacht dat het gaat om een effect bij een zeer extreme gebeurtenis.

² Mortaliteitsgegevens uit: Jonkman (2003) Loss of life caused by floods: an overview of mortality statistics for worldwide floods

Tabel 4.3 Schatting van slachtofferaantallen onder achterblijvers in het overstromde gebied voor de referentiesituatie en voor verschillende typen maatregelen (voor vier regio's)

Maatregel /situatie	NH-ZH	FR-GR	Riv_Ben	Riv_Rijn	Totaal	Vershil met Ref
Referentiesituatie	1330	200	860	280	2670	-
1. Beter voorspellen dreigend hoogwater	1130	140	830	210	2310	360
2. Robuustere wegen (2.1 structureel / 2.2 nood)	1330	200	860	280	2670	0
3. Langer door blijven evacueren:	1290	190	850	270	2600	70
4. Sneller duiden en besluiten	1130	140	830	210	2310	360
5. Sneller vertrekken & beter evacuatiegedrag	1210	140	830	150	2330	340
6. Samen vertrekken (meer mensen/auto)	1210	140	860	180	2390	280
7. Zichtbare en herkenbare evacuateroutes	1290	190	880	270	2630	40
8. Verkeersmanagement 'extreme events'	1290	180	780	270	2510	160
9. Flexibele evacuatiestrategie *)	670	100	430	140	1340	1330
10. Capaciteit infrastructuur verruimen	1290	180	880	180	2520	150

4.3 Beperken van economische schade na overstroming

De schade door uitval van wegen hangt sterk af van de kenmerken van het getroffen gebied, van de beschikbaarheid van alternatieve wegen, van de duur van de overstroming en van de kosten die weggebruikers moeten maken om zich aan te passen aan de tijdelijke situatie.

Uit onderzoek van Wagenaar (2013) blijkt dat een grootschalige overstroming lang kan duren. Grote diepe polders, die leeg gepompt moeten worden, kunnen wel ruim een half jaar onder water staan. In andere gebieden waar het water (gedeeltelijk) onder vrij verval kan wegstromen, zal dit vaak korter zijn (weken tot maanden). De uitvalduur van wegen hangt daarnaast ook af van de herstelperiode die nodig is om de weg weer bruikbaar te maken. Afhankelijk van de fysieke schade aan de weg kan dat gaan om een periode van dagen tot maanden.

In een tweetal studies is gepoogd de economische schade van uitval van wegen te schatten. In een Nederlandse studie van Bakker et al. (2006) is met behulp van een verkeersmodel een schatting gemaakt van de extra reistijd en daarmee de schade. Verder is er een Australische studie (Rolfe, J. et al, 2011) waarin de uitvalschade met twee verschillende methoden is geschat voor een snelweg die 18 dagen niet gebruikt kon worden door een overstroming. In de eerste methode is de schade bepaald op basis van veranderingen in economische bedrijvigheid van het gebied tijdens de periode dat de weg niet beschikbaar was. In de tweede methode zijn opgetreden vertragingen berekend en omgerekend naar uitvalschade. De berekende uitvalschades uit beide studies zijn omgerekend naar schade per snelweg per dag (zie Tabel 4.4).

Tabel 4.4 Schade door uitval van een snelweg.

Studie	Schade M€/dag	Bron
Schade op basis van vertragingen voor een snelweg tijdens de Queensland overstroming van 2011 in Australia	3,78	Rolfe <i>et al</i> , 2011
Schade op basis van verandering in economische bedrijvigheid voor een snelweg tijdens de Queensland overstroming van 2011 in Australia	1,36	Rolfe <i>et al</i> , 2011
Schade op basis van vertragingen geschat met behulp van een verkeersmodel.	2,73	Bakker <i>et al</i> , 2006

De verschillende studies en methoden geven resultaten in dezelfde orde van grootte: een schade 1 tot 4 miljoen euro per dag voor een enkele uitgevallen snelweg. De schade wordt uiteraard mede bepaald door het belang van de snelweg. Wanneer meerdere parallelle wegen gelijktijdig overstromen en daarmee alternatieven wegvallen, kan de schade veel groter uitvallen. In Nederland zou zo'n situatie zich kunnen voordoen met een gelijktijdige overstroming van dijkkring 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden) en dijkkring 16 (Alblasserwaard en Vijfheerenlanden). In zo'n geval worden bijna alle Noord-Zuid verbindingen in Nederland voor langere tijd doorsneden.

4.4 Kosten van maatregelen

Voor de onderscheiden maatregelen zijn globale schattingen opgesteld van de maatschappelijke kosten, die zijn verbonden met uitvoering van de maatregelen. De kostenschattingen zijn erop gericht in beeld te brengen welke maatregelen relatief goedkoop dan wel relatief duur zijn. De opgestelde kostenschatting is nadrukkelijk een globale kostenschatting, vandaar dat een bandbreedte wordt gepresenteerd.

Bij de onderhavige kostenschattingen is gebruik gemaakt van informatie uit eerdere kostenschattingen zoals opgenomen in:

- Evacuatieschattingen Nederland en het effect van investeringen, Kolen en Terpstra (2012)
- Handelingsplan grootschalige horizontale evacuaties, VCNL, Definitieve versie, 25 april 2014

De kosten van maatregelen worden in sterke mate bepaald door de omvang en /of intensiteit waarmee maatregelen worden getroffen. Deze zijn in een generieke context lastig te specificeren. In bijlage D wordt, voor zover van toepassing, een indicatie gegeven welke omvang/intensiteit is verondersteld bij het opstellen van de kostenschatting voor de betreffende maatregel.

Bij de kostenschatting is ook van belang of de maatregel specifiek is gericht op het bevorderen van evacuatie of dat de maatregel een breder doel dient. Is dit laatste geval kan ervoor gekozen worden de kosten niet volledig / slechts voor een deel toe te rekenen aan de betreffende maatregel. In de bijlage is per maatregel gespecificeerd in hoeverre kosten zijn toegerekend aan waterveiligheid (het bevorderen van evacuatie).

Bij de kosten van maatregelen is onderscheid te maken tussen eenmalige kosten en (jaarlijks) terugkerende kosten. Om deze kostenposten onder één noemer te brengen wordt voor alle kosten de contante waarde geschat. Daarbij is uitgegaan van een discontovoet van 5,5% met een oneindige tijdshorizon; dit komt er praktisch op neer dat jaarlijkse kosten worden vermenigvuldigd met een factor 19,2 om de contante waarde te bepalen.

In de bijlage is per maatregel nadere informatie opgenomen over de karakteristieken van de beschouwde maatregel en de gehanteerde uitgangspunten bij de kostenschattingen. Een overzicht van de geschatte kosten voor de verschillende maatregelen is opgenomen in Tabel 4.5. De tabel laat zien dat uitvoering van maatregelen als 'Beter voorspellen' en 'Sneller duiden en beslissen' relatief bescheiden investeringen vergen, terwijl maatregelen als 'Vergroten van capaciteit' of 'Meer robuust maken van infrastructuur' een aanzienlijke investering zullen vergen, afhankelijk van de omvang waarin de maatregelen worden getroffen.

Tabel 4.5 Kostenschattingen voor evacuatie bevorderende maatregelen

Maatregel	Kosten	
	Miljoenen Euro	Toelichting
1. Beter voorspellen dreigend hoogwater	1-5	Onderzoeks- en implementatiekosten van betere modellen.
2.1 Robuustere wegen (structurele aanpassingen)	100-1000+	Kosten afhankelijk van de intensiteit van aanpassingen. Kosten structurele aanpassingen naar verwachting relatief hoog.
2.2 Robuustere wegen (noodmaatregelen)	5-50	Kosten afhankelijk van de intensiteit van aanpassingen en/of bruikleen van materieel mogelijk is.
3. Langer door blijven evacueren:	3-10	Informatie aanleveren en plannen maken voor langer door evacueren icm risico- en crisiscommunicatie
4. Sneller duiden en besluiten	1-5	Efficiëntie van crisisorganisaties vergroten, aanleveren van heldere, eenduidige beslisinformatie (opstellen beslisdiagrammen)
5. Sneller vertrekken & beter evacuatiegedrag	50-150	Door risico- en crisiscommunicatie risicobewustzijn vergroten en gedragsverandering proberen teweeg te brengen
6. Samen vertrekken (meer mensen/auto)	50-150	Door risico- en crisiscommunicatie risicobewustzijn vergroten en gedragsverandering proberen teweeg te brengen
7. Zichtbare en herkenbare evacuatielroutes	3-15	Het vormgeven van het netwerk, de bebording ervan en communicatie voor de evacuatielroutes
8. Verkeersmanagement 'extreme events'	50-150	Aanleg en aanpassing aanwezige DRIP's, CaDo's om flexibele inzet van weginfra mogelijk maken. Ontwikkelen en instandhouden van capaciteit en de kennis.
9. Flexibele evacuatiestrategie	3-10	Risico- en crisiscommunicatie icm het opstellen van de evacuatiestrategie.
10. Capaciteit infrastructuur verruimen (5% resp. 20%)	100-1000+	Afhankelijk van de intensiteit en aard van maatregelen, hoge kosten.

4.5 Samenvattend overzicht van maatregelen en effecten

Een samenvattend overzicht van de effecten en kosten van maatregelen is opgenomen in Tabel 4.6. Tabellen met een toelichting op de effecten zijn opgenomen in bijlage E. De effecten en kosten van de maatregelen zijn nog ingekleurd op grond van het ingeschatte effect op de aantrekkelijkheid van maatregelen.

De laatste kolom laat, de effecten en kosten afwegen, een totaal beeld zien. Het totaal beeld laat zien dat het 'beter voorspellen van dreigend hoogwater (1)' en het 'sneller besluiten en duiden (4)' de meest aantrekkelijke maatregelen zijn. Met relatief bescheiden investeringen wordt met deze maatregelen een duidelijk betere beheersing van het slachtofferrisico bereikt. Mogelijk ook aantrekkelijk zijn de volgende maatregelen: 'samen vertrekken (meer mensen/auto) (6)', 'zichtbare en herkenbare evacuatielroutes (7)', verkeersmanagement van extreme events (8)' en 'flexibele evacuatiestrategie (9)'.

De overige maatregelen zijn op grond van kosten en baten minder aantrekkelijk. Dat geldt in ieder geval voor het landelijke, generieke perspectief. Meer lokaal / regionaal zouden deze maatregelen aantrekkelijker kunnen zijn.

Tabel 4.6 Samenvattend overzicht van effecten van evacuatie bevorderende maatregelen

Evacuatie bevorderende maatregel	Effect voor	Effect tijdens	Effect na	Kosten (MEuro)	Neven effecten	Totaal Beeld
1. Beter voorspellen dreigend hoogwater	4	-	-	1-5	+	
2.1 Robuustere wegen (structurele aanpassingen)	-	2	4	100-1000+	+/-	
2.2 Robuustere wegen (noodmaatregelen)	-	2	4	5 - 50	+/-	
3. Langer door blijven evacueren:	1	2	-	3-10	o/-	
4. Sneller duiden en besluiten	4	-	-	1-5	+	
5. Sneller vertrekken & beter evacuatiegedrag	2	-	-	50-150	+	
6. Samen vertrekken (meer mensen/auto)	3	-	-	50-150	+	
7. Zichtbare en herkenbare evacuatielroutes	2-3	1	-	3-15	+	
8. Verkeersmanagement 'extreme events'	3	2	2	50-150	+	
9. Flexibele evacuatiestrategie	1	4	2	3-10	+	
10. Capaciteit infrastructuur verruimen (5% resp. 20%)	1-3	-	1	100-1000+	+	
	Legenda:	1 - 5 : Beperkt - Zeer Effectief				
			meest aantrekkelijk			
			minst aantrekkelijk			

Tabel 4.7 presenteert het effect van de maatregelen op de slachtofferaantallen onder achterblijvers van het overstroomde gebied. Getoond wordt de *afname* van slachtofferaantallen ten opzichte van de referentiesituatie. De tabel toont tevens de kosten van de maatregelen. Op grond van reductie in slachtofferaantallen en de kosten kan een kwalitatief beeld worden geschetst van de aantrekkelijkheid van verschillende maatregelen. Dit is opgenomen in de laatste kolom van de tabel. Maatregel 9 (Flexibele evacuatiestrategie) springt er als meest gunstige uit, gevolgd door het (1) beter voorspellen en (4) sneller duiden.

Tabel 4.7 Effect van maatregelen op verwachte slachtoferaantallen onder achterblijvers (afname t.o.v. referentiesituatie) en de kosten van deze maatregelen

Evacuatiebevorderende maatregel	Afname slachtoffers tov Ref	Kosten in miljoenen Euro	Totaal beeld
1. Beter voorspellen dreigend hoogwater	360	1-5	
2.1 Robuustere wegen (structurele aanpassingen)	0	100-1000+	
2.2 Robuustere wegen (noodmaatregelen)	0	5-50	
3. Langer door blijven evacueren:	70	3-10	
4. Sneller duiden en besluiten	360	1-5	
5. Sneller vertrekken & beter evacuatiegedrag	340	50-150	
6. Samen vertrekken (meer mensen/auto)	280	50-150	
7. Zichtbare en herkenbare evacuieroutes	40	3-15	
8. Verkeersmanagement 'extreme events'	160	50-150	
9. Flexibele evacuatiestrategie *)	1330	3-10	
10. Capaciteit infrastructuur verruimen (5% resp. 20%)	150	100-1000+	
Legenda:		meest aantrekkelijk	
		minst aantrekkelijk	

5 Synthese en reflectie

Doel en reikwijdte van dit achtergronddocument

Dit achtergronddocument over 'evacuatie over de weg bij (dreigende) overstromingen' is opgesteld ter ondersteuning van het MEGO-advies over de rol van de hoofdinfrastructuur bij overstromingen. De focus in dit document ligt op de inrichting, het gebruik en de robuustheid van infrastructuur van (weg)infrastructuur in de verschillende stadia rond overstromingen. Het document geeft inzicht in de gevoeligheid voor overstromingen van de hoofdinfrastructuur aan de hand van een aantal overstromingsscenario's. Het biedt tevens een update van de analyse van kansrijke lokale knelpunten zoals eerder geïdentificeerd in het kader van de Blue spot studie: een nadere beoordeling van de kansrijkheid in het licht van meer extreme overstromingsscenario's.

Mogelijke maatregelen in het vergroten van de beschikbaarheid en bruikbaarheid van infrastructuur zullen altijd worden afgewogen tegen andersoortige maatregelen die evacuatie kunnen bevorderen. Het document verkent daarom een aantal generieke maatregelen die de effectiviteit van evacuatie positief kunnen beïnvloeden en daarbij ook kunnen bijdragen aan de beperking van maatschappelijke ontwrichting ten gevolge van een overstroming. De belangrijkste effecten (kosten en baten) van de onderkende maatregelen zijn daarbij in beeld gebracht.

Kwetsbaarheid van het hoofdwegennet

Op basis van gegevens over de maximale waterdiepte en de hoogteligging van het hoofdwegennet is onderzocht in welke mate het hoofdwegennet overstroomt bij verschillende dreigingsscenario's. Bij de beschouwde dreigingsscenario's is onderscheid gemaakt in een kustdreiging, een rivierdreiging en een gecombineerde dreiging in het overgangsgebied. De toegepaste methode is in essentie vergelijkbaar met de eerdere kwetsbaarheidsanalyses in het kader van de Bluespot studies, maar dan met andere, meer extreme dreigingsscenario's.

De drie verschillende dreigingsscenario's laten een vergelijkbaar beeld zien ten aanzien van de kwetsbaarheid en inzetbaarheid van het hoofdwegennet. In vrijwel alle potentieel overstroomde gebieden is de verwachte waterdiepte op de weg op veel plaatsen meer dan 80 cm. Vrijwel alle hoofdwegen zijn daarmee onbruikbaar voor alle voertuigen.

In de verkenning is nog nader gekeken naar trajecten binnen het wegennet waarbij slechts een beperkt aantal kilometers in beperkte mate overstroomt. In alle dreigingsscenario's is er daarbij het meeste perspectief voor aanpassing aan de randen van het bedreigd gebied c.q. bij de hoge gronden. Voor die trajecten geldt dat de overstroming veelal beperkt blijft tot enkele kilometers van het traject.

Maatregelen om evacuatie te bevorderen

Er is een aantal maatregelen geïdentificeerd om evacuatie te verbeteren. Een deel van de maatregelen draagt ook bij aan betere mogelijkheden voor redding en/of bevordert een sneller herstel van het overstroomde gebied. De *beschikbare* tijd voor evacuatie is te verlengen door verbeterde voorspelmodellen of door langer door te evacueren na een doorbraak. De *benodigde* tijd voor evacuatie kan op verschillende manieren worden verkleind. Zo kan het evacuatiegedrag van burgers worden beïnvloed: een beter vertrekgedrag of meer zelfredzaamheid. Herkenbare evacuatieroutes en verkeersmanagement bij deze extreme gebeurtenissen kunnen zorgen voor een optimale verdeling van weggebruikers over het wegennet om zo de beschikbare capaciteit maximaal te benutten. De beschouwde maatregelen zijn opgenomen in Tabel 5.1. De tabel laat tevens zien in welke fase van een overstroming de maatregel effect heeft.

Tabel 5.1 Overzicht van evacuatie bevorderende maatregelen met een aanduiding in welke fase de maatregel naar verwachting effect heeft

#	Evacuatie bevorderende maatregelen	Voor	Tijdens	Na
	Effect van maatregel in fase van overstroming:			
1	Beter voorspellen van dreigend hoogwater (eerder en/of nauwkeuriger) om betere voorwaarden te scheppen voor een evacuatiebesluit	x		
2	Robuustere wegen door structurele en/of noodmaatregelen om betere mogelijkheden te creëren voor (1) langer doorgaan met evacueren na doorbraak resp. (2) voor redding en gebiedsherstel		x	x
3	Langer doorgaan met evacueren op basis van betere dreigingsinformatie (gevaar bij stormen en aankomsttijd water na doorbraak).	x	x	
4	Sneller duiden van beter toegesneden dreigingsinformatie en op basis van die informatie sneller besluiten over evacuatie	x		
5	Risicobewustzijn en zelfredzaamheid tijdens evacuatie vergroten om sneller vertrekken en effectiever evacuatiegedrag te bevorderen	x		
6	Samen vertrekken (meer mensen per auto) stimuleren waardoor meer mensen in minder tijd het bedreigde gebied kunnen verlaten	x		
7	Zichtbaar en herkenbaar (netwerk van) evacuatieroutes ontwikkelen en bekend maken om efficiënte benutting van de infrastructuur (en ook risicobewustzijn) te stimuleren	x	x	
8	Capaciteit weggennet optimaal inzetten en behouden door bij extreme 'events' door met verkeersmanagement de gewenste verkeersafwikkeling te sturen en af te dwingen	x	x	x
9	Flexibele evacuatiestrategie (op risico toegesneden combinatie van horizontaal en verticaal evacueren) ontwikkelen om slachtofferrisico zo goed mogelijk te beheersen	x	x	x
10	Capaciteit infrastructuur verruimen door aanleg van extra rijstroken en (beperkte) inzet van andere netwerken.	x		x

Voor deze set maatregelen zijn de effecten nader in beeld gebracht. Voor het bepalen van de effecten op de evacuatiefractie is een zelfde aanpak gevolgd als in de studie 'Evacuatieschattingen Nederland en het effect van investeringen' (Kolen en Terpstra 2012). Bij de effectbepaling zijn vier karakteristieke deelgebieden onderscheiden: Noord- en Zuid Holland (druk bevolkt kustgebied), Friesland en Groningen (landelijk kustgebied), Benedenrivierengebied (bedreigd door zowel rivierafvoer als storm in combinatie met het getijde) en het Rijngebied (afvoer gedomineerd).

Tabel 5.2 Overzicht van effecten van maatregelen op de evacuatiefractie (per deelgebied)

Maatregelen	Evacuatiefracties voor de verschillende deelgebieden in referentiesituatie en na uitvoering van de verschillende maatregelen (%)			
	Noord- en Zuid-Holland	Friesland en Groningen	Beneden riviereengebied	Rijng gebied
Referentiesituatie ('huidige situatie')	15	42	12	76
1. Beter voorspellen dreigend hoogwater	25-30	55-60	15-20	80-85
2. Robuustere wegen (2.1 structureel / 2.2 nood)	15-20	40-45	10-15	75-80
3. Langer door blijven evacueren:	15-20	40-45	10-20	75-80
4. Sneller duiden en besluiten	25-30	55-60	15-20	80-85
5. Sneller vertrekken & beter evacuatiegedrag	20-25	45-50	15-20	75-80
6. Samen vertrekken (meer mensen/auto)	20-25	55-60	15-20	85-90
7. Zichtbare en herkenbare evacuateroutes	15-20	40-45	10-15	75-80
8. Verkeersmanagement 'extreme events'	15-20	45-50	20-25	75-80
9. Flexibele evacuatiestrategie*)	15-20	40-45	10-15	75-80
10. Capaciteit infrastructuur verruimen	15-20	45-50	10-15	80-90

*) Voor de maatregel flexibele evacuatiestrategie geldt dat deze maatregel niet echt effect heeft op de evacuatiefractie. De grote winst van deze maatregel zit in een geringer aantal slachtoffers onder achterblijvers omdat mensen eerder een veilig heenkomen zoeken (zie ook par C.9 van bijlage C).

Geschatte kosten van maatregelen

Voor de onderscheiden maatregelen zijn globale schattingen (een bandbreedte) gemaakt voor de contante waarde van de kosten. De kosten lopen uiteen van enkele miljoen euro tot meer dan 1 miljard euro. Het kostenoverzicht (zie Tabel 4.4) laat zien dat uitvoering van maatregelen als 'Beter voorspellen' en 'Sneller duiden en beslissen' relatief bescheiden investeringen vergen, terwijl maatregelen als 'Vergroten van capaciteit' of 'Meer robuust maken van infrastructuur' aanzienlijke investeringen zullen vergen, een en ander afhankelijk van de omvang waarin de maatregelen worden getroffen.

Overzicht van kosten en baten van maatregelen

Tabel 5.3 laat een samenvattend overzicht zien van de effecten en kosten van de beschouwde maatregelen. De effecten en kosten van de maatregelen zijn daarbij ingekleurd op grond van de ingeschatte aantrekkelijkheid. De laatste kolom laat, de effecten en kosten afwegend, een totaal beeld zien. Het totaal beeld laat zien dat het 'beter voorspellen van dreigend hoogwater (1)' en het 'sneller besluiten en duiden (4)' de meest aantrekkelijke maatregelen zijn. Met relatief bescheiden investeringen wordt met deze maatregelen een duidelijk betere beheersing van het slachtofferrisico bereikt. Mogelijk ook aantrekkelijk zijn de volgende maatregelen: 'samen vertrekken (meer mensen/auto) (6)', 'zichtbare en herkenbare evacuateroutes (7)', verkeersmanagement van extreme events (8)' en 'flexibele evacuatiestrategie (9)'. De overige maatregelen zijn op grond van kosten en baten minder aantrekkelijk.

Tabel 5.3 Samenvattend overzicht van effecten van evacuatie bevorderende maatregelen

Evacuatie bevorderende maatregel	Effect voor	Effect tijdens	Effect na	Kosten (MEuro)	Neven effecten	Totaal Beeld
1. Beter voorspellen dreigend hoogwater	4	-	-	1-5	+	
2.1 Robuustere wegen (structurele aanpassingen)	-	2	4	100-1000+	+/-	
2.2 Robuustere wegen (noodmaatregelen)	-	2	4	5 - 50	+/-	
3. Langer door blijven evacueren:	1	2	-	3-10	o/-	
4. Sneller duiden en besluiten	4	-	-	1-5	+	
5. Sneller vertrekken & beter evacuatiegedrag	2	-	-	50-150	+	
6. Samen vertrekken (meer mensen/auto)	3	-	-	50-150	+	
7. Zichtbare en herkenbare evacuatielroutes	2-3	1	-	3-15	+	
8. Verkeersmanagement 'extreme events'	3	2	2	50-150	+	
9. Flexibele evacuatiestrategie	1	4	2	3-10	+	
10. Capaciteit infrastructuur verruimen (5% resp. 20%)	1-3	-	1	100-1000+	+	
	Legenda:	1 - 5 : Beperkt - Zeer Effectief				
			meest aantrekkelijk			
			minst aantrekkelijk			

Tabel 5.4 presenteert het effect van de maatregelen op de slachtofferaantallen onder achterblijvers van het overstroomde gebied. Getoond wordt de afname van slachtofferaantallen ten opzichte van de referentiesituatie. De tabel toont tevens de kosten van de maatregelen. Op grond van reductie in slachtofferaantallen en de kosten kan een kwalitatief beeld worden geschetst van de aantrekkelijkheid van verschillende maatregelen. Dit is opgenomen in de laatste kolom van de tabel. Maatregel 9 (Flexibele evacuatiestrategie) springt er als meest gunstige uit, gevolgd door het (1) beter voorspellen en (4) sneller duiden.

Tabel 5.4 Effect van maatregelen op verwachte slachtofferaantallen onder achterblijvers (afname t.o.v. referentiesituatie) en de kosten van deze maatregelen

Evacuatiebevorderende maatregel	Afname slachtoffers tov Ref	Kosten in miljoenen Euro	Totaal beeld
1. Beter voorspellen dreigend hoogwater	360	1-5	
2.1 Robuustere wegen (structurele aanpassingen)	0	100-1000+	
2.2 Robuustere wegen (noodmaatregelen)	0	5-50	
3. Langer door blijven evacueren:	70	3-10	
4. Sneller duiden en besluiten	360	1-5	
5. Sneller vertrekken & beter evacuatiegedrag	340	50-150	
6. Samen vertrekken (meer mensen/auto)	280	50-150	
7. Zichtbare en herkenbare evacuatielroutes	40	3-15	
8. Verkeersmanagement 'extreme events'	160	50-150	
9. Flexibele evacuatiestrategie *)	1330	3-10	
10. Capaciteit infrastructuur verruimen (5% resp. 20%)	150	100-1000+	
	Legenda:		
		meest aantrekkelijk	
		minst aantrekkelijk	

Nader inzoomen op specifieke regio's

Het overzicht van maatregelen en effecten biedt een referentiekader voor de afweging van regionale maatregelen gericht op een betere beschikbaarheid en benutting van de infrastructuur. Ter onderbouwing van dergelijke afwegingen zullen meer regionale studies nodig zijn.

Daarbij kan het nuttig zijn om ook minder omvangrijke overstromingsscenario's op te stellen met een grotere kans van voorkomen. Mogelijke doorbraken van regionale keringen kunnen in de opstelling van dergelijke regionale scenario's worden betrokken. Vanuit LIWO is veel basisinformatie beschikbaar om zulke regionale scenario's vorm te geven.

Aan de hand van dergelijke meer regionale overstromingsscenario's kan het belang van infrastructuur beter worden gespecificeerd, bijvoorbeeld in de vorm van evacuatie routes in de dreigingsfase. Voor de herstelfase kunnen mogelijk prioriteiten worden gesteld voor de instandhouding en/of het herstel van bepaalde verbindingen om ontvruchting te beperken dan wel economisch herstel te bespoedigen.

Analyses met dergelijke regionale scenario's laten naar verwachting meer perspectief zien voor infrastructuur maatregelen dan de onderhavige landelijke studie. In dergelijke regionale studies kan ook beter aandacht worden gegeven aan de relatie met het onderliggend wegennet. De huidige studie, zoals hier gerapporteerd, was beperkt tot de betekenis van genoemde landelijke overstromingsscenario's voor het hoofdwegennet.

De zoektocht naar effectieve aanpassingen voor een robuuster hoofdwegennet zou zich het beste kunnen richten op die plaatsen waar problemen door water vaker kunnen voorkomen: de wat waarschijnlijker scenario's. De verwachting is dat voor dergelijke, meer waarschijnlijke en minder grootschalige, overstromingen eerder Quick Wins te vinden zijn. Gezien eerder opgetreden wateroverlast zou de A2 nabij Den Bosch, waar de Dommel en Maas samenstromen, een interessante regionale case kunnen vormen.

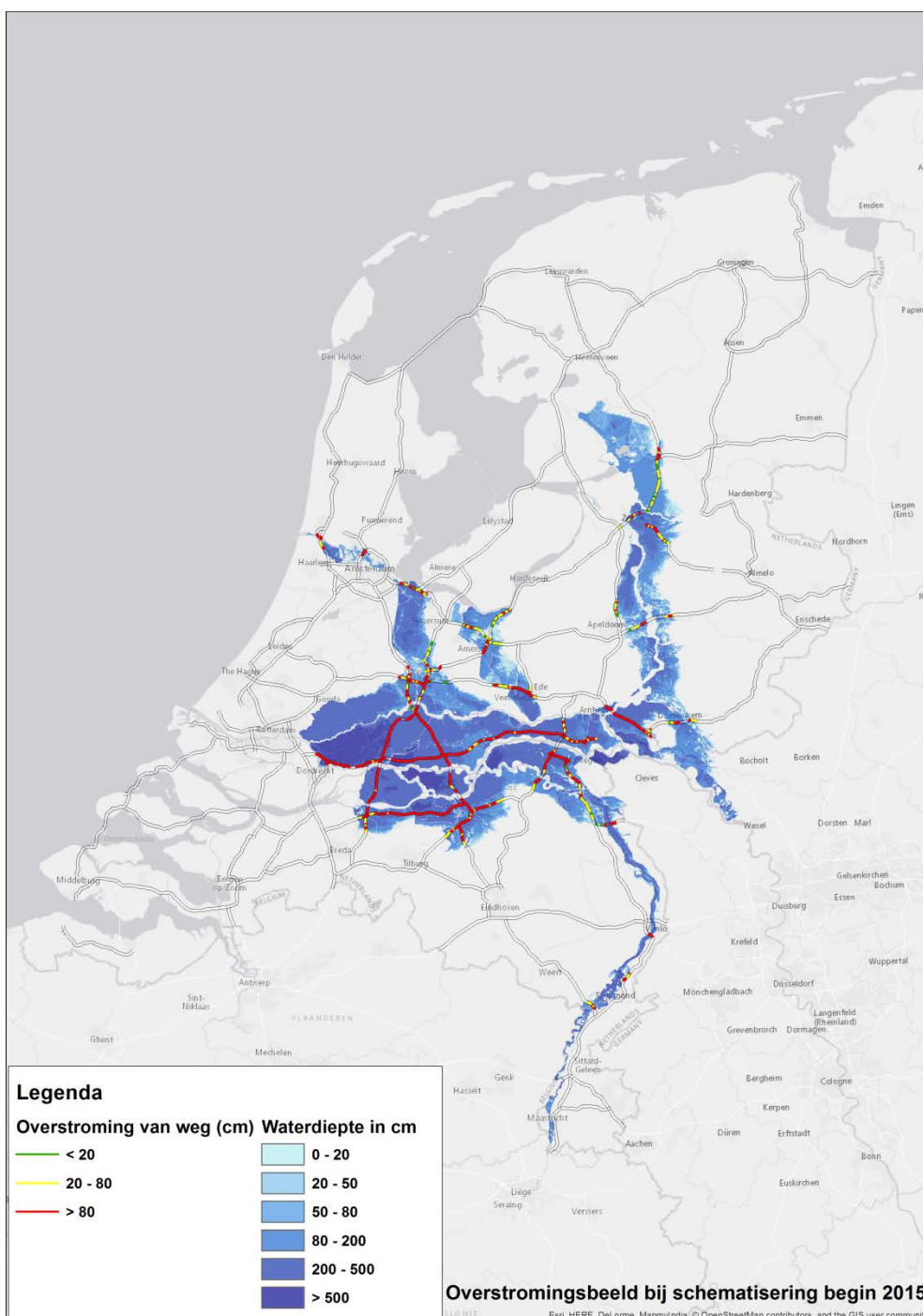
6 Referenties

- Bakker, D., Van der Doef, M., Van Donkelaar, J., Kind, J., Van Der Linde, G., Mourik, H., (2006). Economische waardering van mobiliteitseffecten van een dijkdoorbraak. Quick-scan voor dijkkring 36. Land van Heusden/ de Maaskant. Rijkswaterstaat
- Bles, T et al, (2012) Investigation of the blue spots in the Netherlands National Highway Network, Deltares rapport, 1205568-000, Mei 2012
- Bles, T. et al (2014) Verdiept inzicht in de beschikbaarheid van het hoofdwegenet tijdens evacuaties” Deltares – 1209380-005, 2014
- HKV, (2015) Uitgangspunten opstellen dreigingsscenario's Kust, Rivier en Overgangsgebied, memorandum PR2896.21, 22 april 2015
- Jonkman, S.N. (2003) Loss of life caused by floods: an overview of mortality statistics for worldwide floods
- Jonkman S.N. (2007). Loss of life estimation in flood risk assessment – theory and applications. Proefschrift TU Delft. Juni, 2007.
- Klijn, F., B. Kolen, J.M. Knoop, D. Wagenaar, K. de Bruijn & L. Bouwer (2013), Maatschappelijke ontwrichting door overstromingen voorkomen? - Verkenning van groepsrisico als normatieve grondslag en beïnvloedingsmogelijkheden, Deltares, HKV lijn in water, Planbureau voor de Leefomgeving.
- Kolen, B., Terpstra T., (2012). Evacuatieschattingen Nederland en het effect van investeringen Globale inventarisatie kosten en baten van rampenbeheersing bij overstromingen: HKV lijn in water
- Kolen, B., Maaskant, B., Terpstra, T., (2013) Evacuatieschattingen Nederland – addendum: HKV lijn in water
- Kolen B. (2013). Certainty of uncertainty in evacuation for threat driven responses. Proefschrift Radboud University Nijmegen. Oktober, 2013.
- Maaskant, B., Kolen, B., Jongejan, R., Jonkman, S.N. en Kok, M. (2009). Evacuatieschattingen Nederland. Lelystad: HKV lijn in water
- Pereboom, D., (2013) Risico's van overstroming voor het functioneren van het hoofdwegenet, Deltares rapport 1207849-000, Oktober 2013
- Rolfe, J., Gowen, R., Kinnear, S., Flint, N., Liu, W., (2011). Assessing the regional economic impacts of flood interruption to transport corridors in Rockhampton. CQUniversity, Australia.
- Terpstra, T (2011). Emotions, trust, and perceived risk: affective and cognitive routes to flood preparedness behavior. Risk Analysis, 31(10), 1658-75

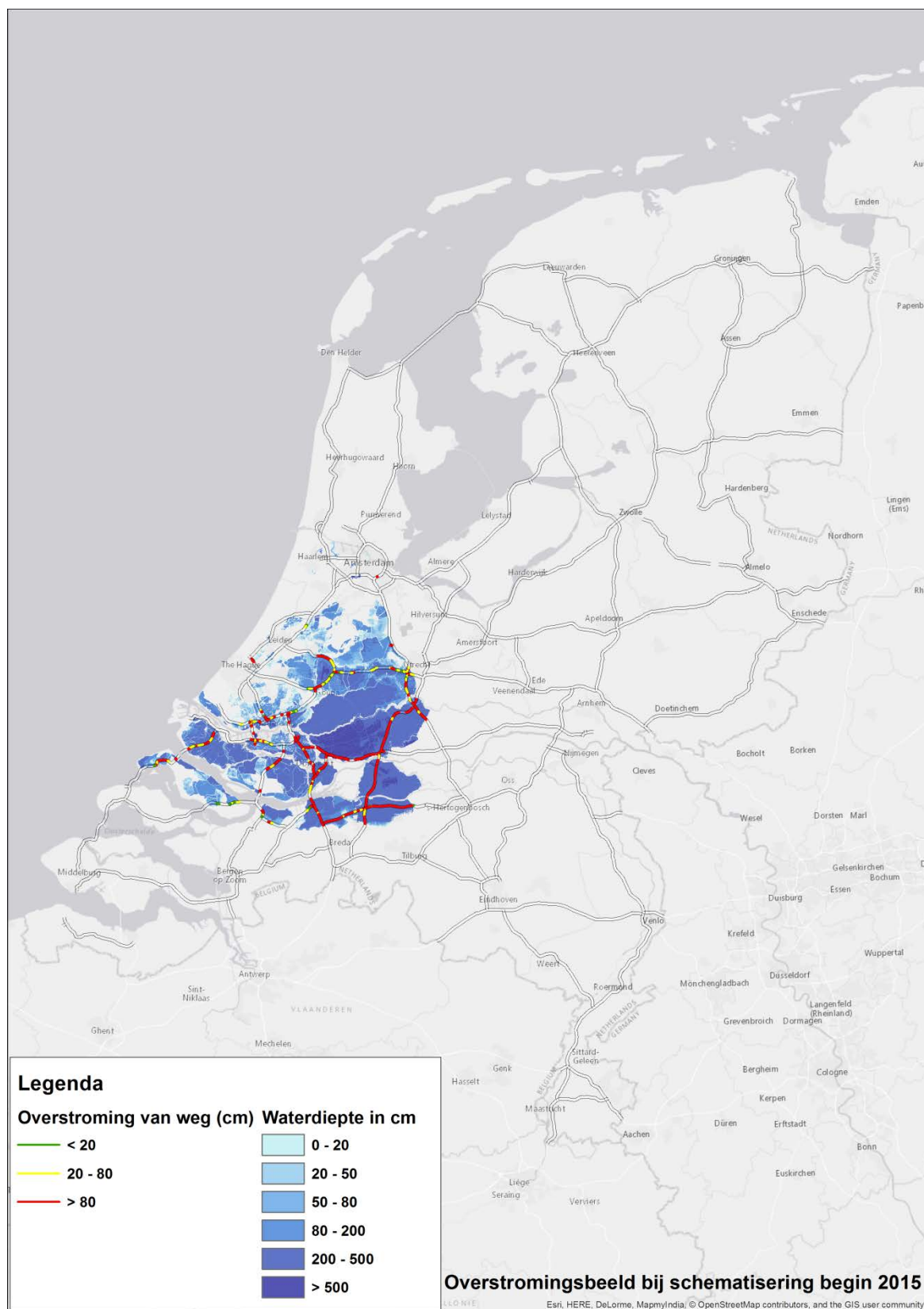
VCNL, (2014) Handelingsplan grootschalige horizontale evacuatie, Definitieve versie, 25 april 2014

Wagenaar D.J., (2013). Bepaling duur van overstromingen voor autosnelwegen. Deltares rapport 1206082-001

A Kwetsbaarheid van hoofdwegennet voor overstromingen bij enkele extreme scenario's



Figuur A.1 Kwetsbaarheid van hoofdwegennet voor overstromingen bij het extreme scenario voor het rivierengebied (overstromingsbeeld bij schematisering begin 2015)



Figuur A.2 Kwetsbaarheid van hoofdwegenet voor overstromingen bij het extreme scenario voor het overgangsgebied (overstromingsbeeld bij schematisering begin 2015)

B GIS analyse kwetsbaarheid wegennet & quick wins trajecten

Deze bijlage beschrijft de uitgevoerde GIS-analyse voor het bepalen van de kwetsbaarheid van het hoofdwegennet. De gebruikte invoergegevens en bronnen worden toegelicht. Vervolgens worden de berekeningen voor de analyse van de kwetsbaarheid en de trajectanalyse stapsgewijs doorlopen. De bijlage wordt afgesloten met een discussie van aanpak en resultaten.

B.1 Invoergegevens:

Om de inzetbaarheid en robuustheid van infrastructuur bij verschillende dreigingen te bepalen is een aantal datasets nodig. Specifiek zijn gegevens nodig over het waterpeil of de waterdiepte per dreigingsscenario. Bij waterdieptes is daarnaast een hoogtebestand nodig om een waterpeil te creëren en gegevens over waar de hoofdwegen zich bevinden.

B.1.1 Dreigingsscenario's

De dreigingsscenario's zoals gebruikt in deze studie zijn aangeleverd door HKV_{lijn in water}. Het betreft 3 scenario's waarin maximale waterdieptes voor respectievelijk een dreiging door stormen aan de kust, een dreiging door hoge rivierafvoeren en een dreiging door gecombineerde stormopzet en hoge rivierafvoeren zijn aangeleverd. Deze scenario's zijn besproken met de projectgroep en na overleg zijn enkele wijzigingen (zoals systeemwerking) doorgevoerd (HKV, 2015).

B.1.2 Hoogtebestand

Om een maximale waterdiepte te relateren aan een overstroming van infrastructuur zijn hoogtegegevens nodig. Om het waterpeil te bepalen is de maximale waterdiepte bij het AHN zoals gebruikt in de originele bluespot studies gebruikt (Bles et al, 2012). Het resulterende waterpeil vertoont variatie, welke het gevolg is van zowel hoogteverschillen in het landschap als het combineren van meerdere overstromingsscenario's in een maximale waterdieptekaart.

B.1.3 Hoogteligging van de wegen

Om te bepalen of wegen overstroomd zijn, is gebruik gemaakt van het wegenbestand van RWS ("BPS_Banen PDOK"). Dit wegenbestand is opgeknipt in segmenten waarna voor elk segment de minimaal voorkomende hoogteligging van de weg uit de dataset is gebruikt om te bepalen of de weg overstroomt.

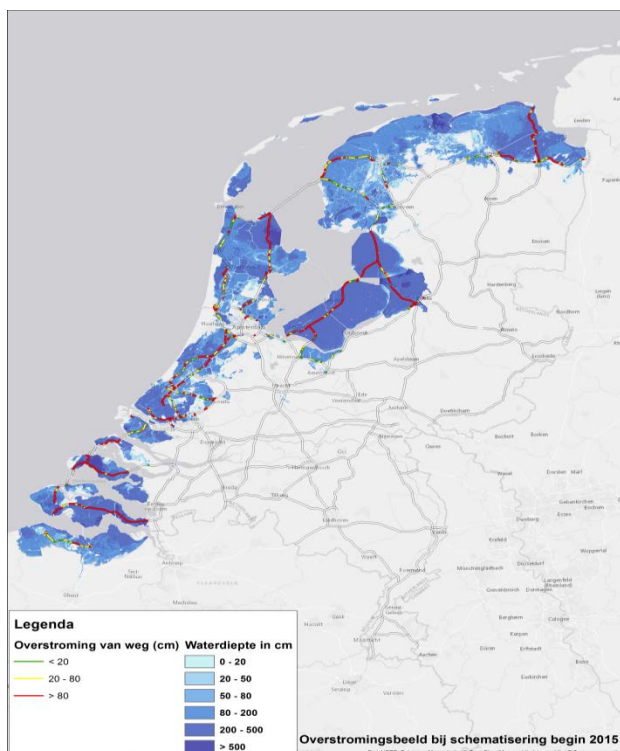
B.2 Berekeningen

In de berekeningen is de stap van dreigingsscenario's naar maximaal voorkomende waterpeilen gezet. Deze zijn vervolgens vergeleken met de hoogteligging van de weg. De dreigingsscenario's zijn gecombineerd met het AHN om van een maximale waterdiepte een (maximaal) waterpeil te reconstrueren. Dit gebeurt door het waterpeil bij het hoogtebestand op te tellen. Hierbij moet worden opgemerkt dat door de combinatie van diverse overstromingsscenario's het waterpeil geen vlak of uniform karakter meer hoeft te vertonen. Er zijn immers meerdere overstromingsscenario's met elkaar gecombineerd waaruit maximum dieptes zijn gebruikt in de dreigingsscenario's.

Het waterpeil is vervolgens vergeleken met de minimale hoogte van het HWN. Waar het waterpeil hoger ligt dan het HWN is volgens het dreigingsscenario water op de weg te verwachten. Waar het waterpeil lager ligt dan de hoogteligging van de weg blijft de weg zelf droog. Dit betekent overigens niet per definitie dat de weg bruikbaar is of bruikbaar blijft in de fase tijdens en na overstroming, het betekent slechts dat er geen water op de weg verwacht wordt. Andere redenen voor instabiliteit zijn in de analyse niet meegenomen.

Per weggedeelte is vervolgens een waterdiepte berekend door te kijken welke waterdiepten voorkomen over het segment van 500 meter. Hierbij is gekozen voor gemiddelde waterdieptes waarbij droge gedeelten een waterdiepte van 0 krijgen toegekend. Door te rekenen met nullen voor cellen zonder waarden wordt de gemiddelde waterdiepte bepaald door te kijken op welke locaties de wegen en de natte gebieden elkaar doorkruisen. Voor de analyse is het immers van belang dat de overstroomde wegen naar voren komen. Is voor een wegsegment van 500 meter elke bijbehorende rasterwaarde 0, dan overstroomt deze weg niet en wordt geen water op de weg getoond in de verdere analyse. Doorkruist het segment van 500 meter echter 1 of meerdere locaties (maar niet alleen maar) cellen waar water verwacht wordt in het dreigingsscenario zal het gemiddelde afhangen van alle waarden. Ook de locaties zonder water worden meegewogen met een waterdiepte 0.

Na de besproken analyse resulteren een 3-tal kaarten voor de verschillende dreigningsniveaus. Als voorbeeld is kaart B.1 met daarop de kustdreiging hieronder bijgevoegd. De klassegrenzen zijn hierbij gekozen op het mogelijke gebruik. <20 cm is te doorkruisen voor personenauto's. 20 – 80 cm is de doorkruisen door hulpverleners en meer dan 80 cm is niet te doorkruisen.

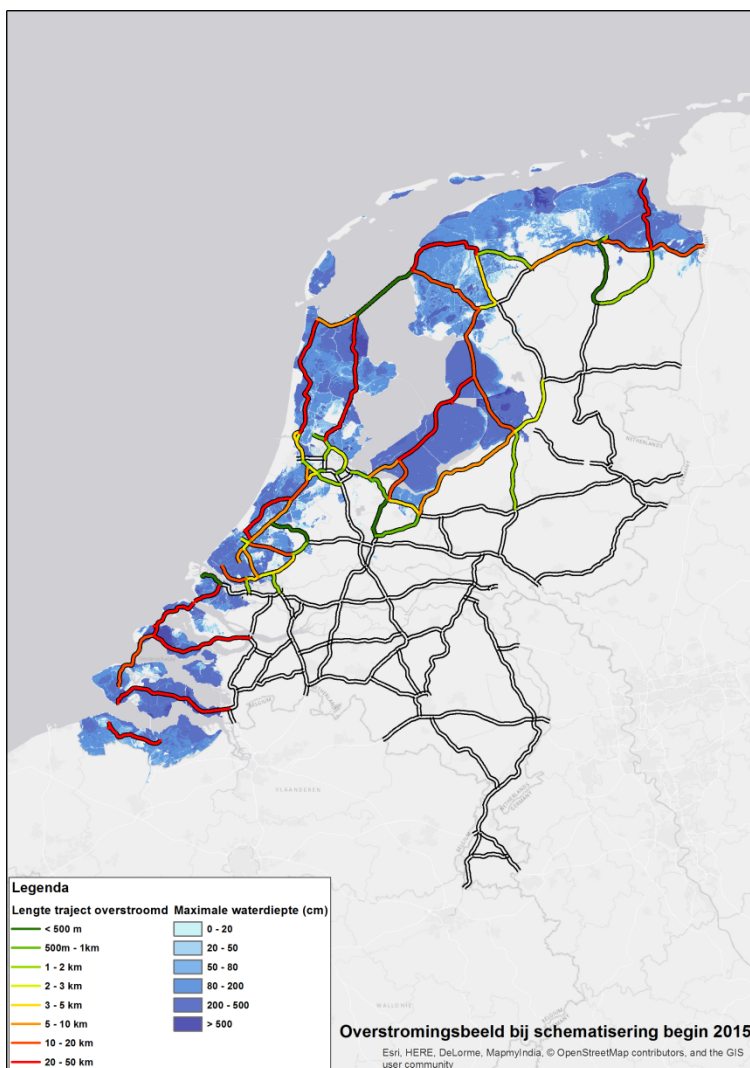


Kaart B.1 Kwetsbaarheid van het hoofdwegennet voor overstromingen

Vervolgens is het wegenbestand samengevoegd tot 1 shapefile en opnieuw opgeknipt op alle kruispunten om trajecten te onderscheiden. Voor deze trajecten is vervolgens gekeken naar de lengte waarover het traject overstroomt binnen elk scenario. Hierbij is overstroomd gedefinieerd als een waterdiepte van meer dan 1 centimeter.

Om de lengte van overstroomde trajecten te meten is een fishnet gebruikt over de trajecten. Hierin wordt opgeslagen welke lengte van het specifieke (unieke) traject door een bepaalde cel kruist. Zo kan in plaats van de omtrek van (vierkante) cellen de accuratere lengte van de polyline gebruikt worden.

Daarna is het waterdiepte grid rond wegen 3x omgezet in een vectorbestand. Het gecreëerde vectorenbestand is gecombineerd met de trajecten. Het resulterende bestand bevat dus in 1 file: TrajectID – SegmentID – Lengte overstroomde segment. Door vervolgens de segmentID's te 'dissolveren' en de overstroomde lengte per segment op te tellen op basis van traject ID blijft per traject een som van de overstroomde lengte over. Deze is weergegeven in Figuur B.2.



Figuur B.2 Overstromingsgevoeligheid van wegtrajecten

B.3 Discussie van gebruikte methode

- Het hoogtemodel zoals gebruikt binnen de Bluespot studies is hier opnieuw gebruikt. Dit is niet het meest exacte en meest up-to-date bestand. Dit komt de vergelijkbaarheid ten goede. Het kan echter ook dat hierdoor enige onzekerheid wordt geïntroduceerd, de mate van onzekerheid is niet direct te berekenen maar er is voldoende vertrouwen in het globale overstromingsbeeld. Er spelen overigens meer onzekerheden bij de bepaling van de verwachte maximale waterdiepte, zoals aannamen ten aanzien van de breedte van de bres, de mate van bresgroei, de 'schematisatie' van hoge lijnelementen (ondermeer standzekerheid). Een ruwe indicatie van de mate van onzekerheid: een bandbreedte van zo'n 50 cm (maximale waterdiepte +/- 25 cm).
- Het wegebestand zoals gebruikt binnen de Bluespot studies is hier opnieuw gebruikt. Ook dit is niet het meest up-to-date bestand. Als er uitbreiding van het HWN heeft plaatsgevonden sinds de originele Bluespot studie zijn deze uitbreidingen niet meegenomen in deze studie. Het algemene beeld van inzetbaarheid zal gezien de beperkte veranderingen aan het HWN niet echt veranderen.
- De Kwetsbaarheidanalyse geeft inzicht in de verschillen tussen de VNK2/EDO dreigingsscenario's en de Risicokaart ROR scenario's. De trajectanalyse zoals hierboven besproken is echter niet herhaald voor dreigingsscenario's op basis van de risicokaart ROR. Hoofdzakelijk vanwege de beperkte meerwaarde, aangezien een trajectanalyse niet noodzakelijk is gebleken voor het identificeren van Quick Wins.

C Effect van maatregelen op evacuatiefractie

Deze bijlage presenteert het effect van maatregelen op de evacuatiefractie. Uitzondering daarop is de maatregel 9) Flexibele evacuatiestrategie, die niet zo zeer effect heeft op de evacuatiefractie, maar op het verwachte aantal slachtoffers onder achterblijvers in geval een bedreigd gebied daadwerkelijk overstroomt. De toename van evacuatiefractie moet altijd worden gezien in relatie tot de kenmerken van het bedreigde gebied. Een kleine verandering in fractie in dichtbevolkte gebieden betreft een groot aantal getroffen.

C.1 Beter voorspellen dreigend hoogwater

Gebied	Huidige evacuatie fractie	Nieuwe evacuatiefractie na maatregel	Fase overstroming		
			voor	tijdens	na
Noord- Zuid Holland	15%	25-30%	x		
Friesland Groningen	42%	55-60%	x		
Beneden rivierengebied	12%	15-20%	x		
Rijn	76%	80-85%	x		

Tabel C.1 Toename evacuatiefractie door beter voorspellen en eerder onderkennen van de dreiging

Beter voorspellen en eerder/nauwkeuriger onderkennen dreigend hoogwater

Wanneer er nauwkeuriger modellen zouden zijn zodat een dreiging en het moment van een mogelijke dijkdoorbraak beter voorspeld kan worden, treden er twee effecten op: de dreiging is met minder onzekerheid omgeven en er kan eerder besloten worden tot een preventieve evacuatie. Beter voorspellen veronderstelt dus dat er betere voorspelmodellen ontwikkeld kunnen worden. We gaan er voor het inschatten van het effect vanuit dat door verbeterde voorspelmodellen 24 uur eerder besloten kan worden tot evacueren.

Effect van de maatregel 'beter voorspellen'.

Verondersteld is dat er door betere hoogwaterverwachtingen 1 dag meer tijd beschikbaar is voor de uitvoering van een evacuatie. Deze maatregel is eerder onderzocht in de studie 'Evacuatieschattingen Nederland en het effect van investeringen' (Kolen en Terpstra 2012). Deze dag extra beschikbare tijd is doorgerekend door aanpassingen te doen in de kansverdeling van de beschikbare tijd over de 1 tot 4 dagen die voorafgaan aan de doorbraak. Het effect van beter voorspellen levert de grootste toename in de evacuatiefractie op voor de gebieden Noord-Zuid-Holland en Friesland-Groningen. Voor het benedenrivierengebied verdubbelt de evacuatiefractie bijna maar deze blijft relatief laag. We merken op dat:

- De grotere toename in de kustgebieden is te verklaren door de van nature korte voorspel- en evacuatietijd in deze gebieden;
- Het Rijngebied een langere voorspeltijd heeft en daardoor in de referentiesituatie al een relatief hoge evacuatiefractie; hierdoor is het effect van een dag extra evacueren relatief klein.

Neveneffecten bij de maatregel beter voorspellen

Een positief neveneffect is dat mensen en bedrijven meer tijd hebben om schade reducerende maatregelen te nemen. De schade kan dus afnemen.

Beter voorspellen kan eveneens een positief effect hebben het aantal valse alarmen, waarbij achteraf blijkt dat evacuatie niet nodig was omdat de overstroming niet is opgetreden. Door experts wordt ingeschat dat er in het rivierengebied momenteel vijf keer vaker geëvacueerd zal worden dan dat er overstromingen zullen zijn (verhouding 1:5). In het kustgebied wordt deze verhouding zelfs geschat op 1:50. In deze studie nemen we echter aan dat er geen (groot) effect is op het aantal valse alarmen: door de verbeterde verwachtingen is er weliswaar meer tijd beschikbaar voor evacuatie, maar de onzekerheid omtrent die verwachtingen is gelijk verondersteld.

C.2 Robuustere wegen (structureel / nood)

Evacuatiemogelijkheden na een overstroming kunnen in beginsel worden vergroot door wegen te beschermen, te verhogen en/of te verstevigen. Dit kan structureel worden vormgegeven door ze anders te ontwerpen, of door in geval van een dreiging (mobiele) noodmaatregelen te treffen. Hierdoor duurt het langer voordat wegen onder water staan. Om de capaciteit van deze wegen te kunnen benutten dienen ook de (lokale) aanvoerwegen droog te zijn. Het effect van een robuustere infrastructuur is dat mensen langer kunnen evacueren, ook ná de doorbraak. Het permanent of tijdelijk ophogen of beschermen van wegen is een grote infrastructurele opgave, waarbij de benodigde ophoging per wegdeel kan variëren. Vanwege de omvang van deze ingreep achten we het niet haalbaar om de volledige infrastructuur watervrij te houden. Gegeven de omvang van een overstroming na een doorbraak van een primaire waterkering verwachten we dat het effect op de evacuatiefractie van gebieden miniem is.

Het wel denkbaar dat met lokale, kleine ingrepen de evacuatiemogelijkheden van kleinere gebieden verbeteren. Dit effect is door de kleinschaligheid niet in een evacuatiefractie terug te zien maar kan wel degelijk baten hebben. Het verdient aanbeveling nader te onderzoeken of er lokale knelpunten zijn die hiervoor in aanmerking komen.

Neveneffecten bij de maatregel langer evacueren na doorbraak door structurele / noodmaatregelen voor robuustere infrastructuur

- Indien infrastructuur structureel anders wordt aangelegd leidt dit tot andere ontwerpeisen dan in de huidige situatie. Het ligt voor de hand dat de infrastructuur dan hoger, of met beschermingsmiddelen (waterkeringen) wordt aangelegd. In beide gevallen kan dit leiden tot inpassingsproblemen in het landschap en horizonvervuiling. Hoger aangelegde wegen kunnen ook leiden tot problemen met geluid en fijnstof. Deze neveneffecten treden dagelijks op.
- Indien er ingezet wordt op noodvoorzieningen zullen deze onderhouden en opgeslagen moeten worden. Ook is het nodig dat organisaties en mensen worden getraind om de noodvoorzieningen in te zetten. Indien deze middelen slechts bij een evacuatie nodig zijn is de inzetfrequentie laag en de maatregel niet kosteneffectief. Door deze noodvoorzieningen ook geschikt te maken voor inzet bij andere incidenten (bv. wateroverlast) of in dagelijkse werkprocessen (bv. wegenonderhoud) kan de efficiëntie mogelijk vergroot worden.

C.3 Langer door blijven evacueren

Langer evacueren bij stormen en zware wind of op basis van aankomsttijd water

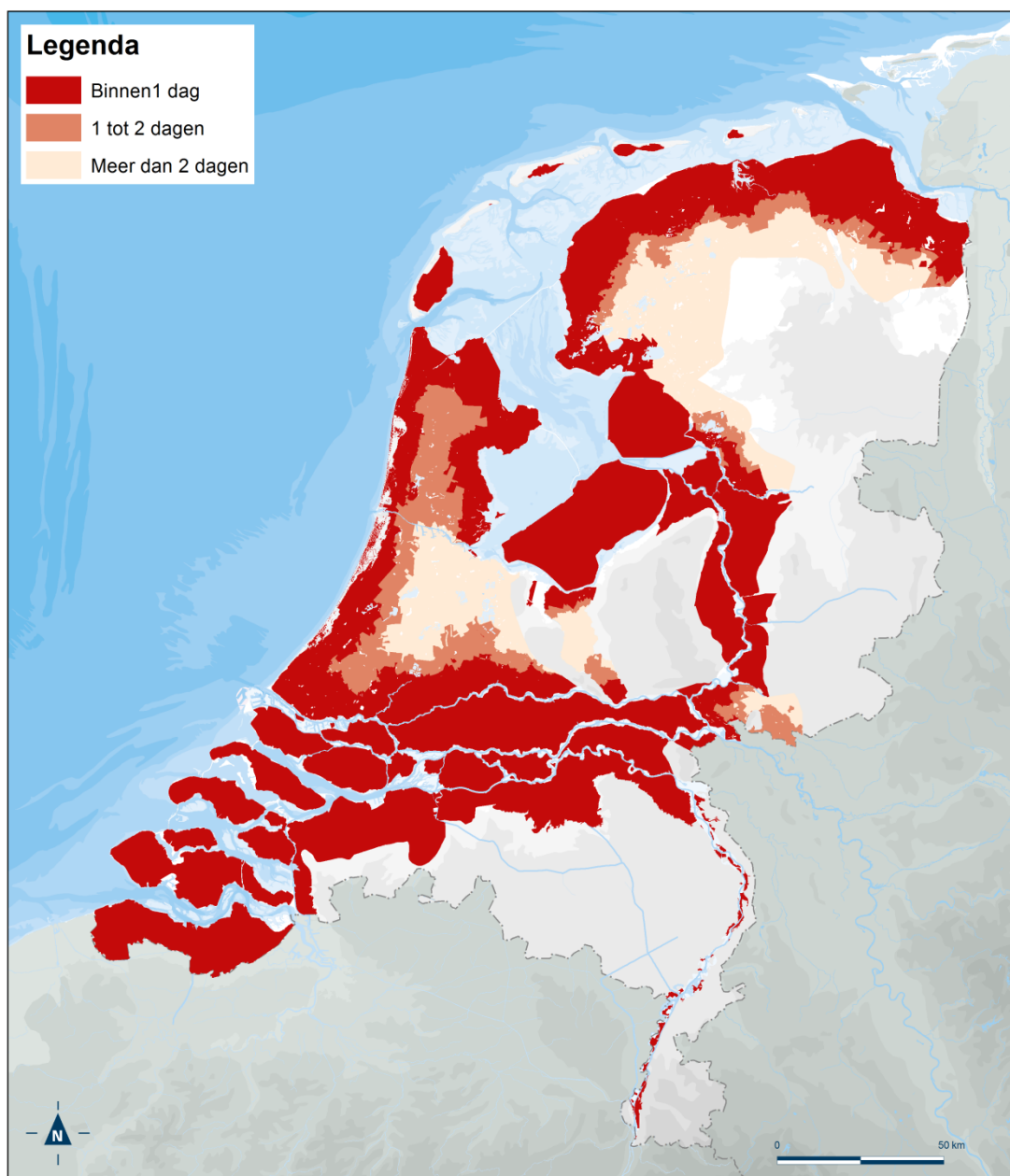
Gebied	Huidige evacuatie fractie	Nieuwe evacuatiefractie na maatregel	Fase overstroming		
			voor	tijdens	na
Noord- Zuid Holland	15%	15-20%	X	X	x*
Friesland Groningen	42%	40-45%	x	X	x*
Beneden rivierengebied	12%	10-15%	x	X	x*
Rijn	76%	75-80%	x	X	x*

Tabel C.2: Toename evacuatiefractie door langer evacueren

Langer door evacueren heeft betrekking op twee situaties. Ten eerste, langer doorgaan met evacueren in het kustgebied tijdens storm. Voor de kust en de benedenrivieren is het uitgangspunt gehanteerd dat er 24 uur voorafgaand aan een kritieke dreiging (of: verwachte overstroming) niet meer geëvacueerd kan worden. De storm gaat gepaard met extreem harde wind die de evacuatie bemoeilijkt. Gegeven de sterkte van de keringen is er een periode van ongeveer 24 uur met windkracht 11 nodig om het zeewater dermate op te stuwen dat er een kans op een overstroming ontstaat. Hierna zal de storm naar verwachting nog enige tijd aanhouden en op zichzelf al tot de nodige verwoesting leiden. Rijkswaterstaat en de hulpverleningsdiensten zullen hun personeel tijdig terugtrekken vanwege de risico's voor de eigen veiligheid.

Ten tweede, doorgaan met evacueren na een dijkdoorbraak. In de evacuatieberekeningen is het uitgangspunt gehanteerd dat na een dijkdoorbraak geen evacuatie meer zal plaatsvinden. Echter, gebieden zullen na een dijkdoorbraak niet direct geheel onder water staan, waardoor er in theorie gedurende enige tijd (uren) mogelijkheden zijn om langer door te gaan met evacueren. In geval van een doorbraak van de Lekdijk kan het zelfs enkele dagen duren voordat het gebied volledig is overstroomd (zie Figuur C.1).

Overigens zal bij een evacuatie na een dijkdoorbraak waarschijnlijk geen sprake meer zijn van een gecoördineerd proces. De informatiepositie van de crisiscentra is zeer onzeker omdat ICT en nutsvoorzieningen (deels) uitvallen, afgeschakeld zijn of overbelast raken. De vraag is dus of crisiscentra nog over betrouwbare informatie zullen beschikken en in welke mate zij deze informatie kunnen omzetten in effectieve maatregelen en communiceren naar hulpverleners in het veld. In geval van de Lekdijk zal het langer doorgaan met evacueren na een dijkdoorbraak naar verwachting alleen lokaal tot een toename van het aantal evacués leiden. Omdat de evacuatiefractie geldt voor het gehele gebied, zal deze slechts in beperkte mate toenemen.



Figuur C.1 Aankomsttijd van een overstroming zoals opgenomen in LIWO. Deze kaart is gebaseerd op een worst case benadering gezien de onzekerheid in belasting en bresvorming

Hoewel het in beide situaties aan coördinatie zal ontbreken, zullen sommige mensen er desondanks zelf voor kiezen om het bedreigde gebied te verlaten. Dit autonome proces kan echter niet gezien worden als het effect van een maatregel, omdat het bij maatregelen gaat om een bewuste keuze van de overheid. Het meenemen van dit autonome proces is feitelijk niets meer zijn dan een nuancering van de aannamen die ten grondslag liggen aan de huidige evacuatiemodellering.

Het is onduidelijk of deze nuancering effect heeft op het aantal slachtoffers. Enerzijds zullen door een toename van de evacuatiefractie minder mensen in het bedreigde gebied

achterblijven. Anderzijds is met dit autonome evacuatieproces al rekening gehouden in de slachtofferfuncties waarmee het aantal slachtoffers in een overstroomd gebied wordt afgeleid. Het verdient aanbeveling om dit verder uit te zoeken.

Neveneffecten bij de maatregel langer evacueren bij stormen en zware wind of o.b.v. aankomsttijd water

Het langer doorgaan met evacueren kan ertoe bijdragen dat de uiteindelijke reddingsopgave kleiner wordt. Dit effect is naar verwachting lokaal en beperkt. Een ongunstige neveneffect zou nog kunnen zijn dat meer mensen nog onderweg zijn en worden overvallen door het water.

C.4 Sneller duiden en besluiten

Sneller duiden en sneller beslissen om zo de benodigde tijd verkleinen

Het positieve effect van beter voorspellen veronderstelt dat de langere voorspelduur ook daadwerkelijk benut kan/zal worden voor evacuatie door een vroegtijdige besluitvorming. Deze tijd is dan maximaal gelijk aan de betere voorspeltijd van in dit geval 24 uur. Het gaat er in deze maatregel om dat op basis van dezelfde informatie sneller wordt besloten. Dit heeft dus betrekking op de efficiëntie van de crisisorganisatie. Evacuatie-beslisdiagrammen (zie Kolen 2013) kunnen hierbij behulpzaam zijn. Snelle of vroege besluitvorming betekent overigens niet een betere uitvoering. Deze blijft in feite onveranderd.

Effect van de maatregel 'Eerder beslissen'

Het effect van deze maatregel komt overeen met die van 'Beter voorspellen'. Zie Tabel C.1

Neveneffecten bij de maatregel 'Eerder beslissen'

Een mogelijk positief neveneffect van een aangepaste en getrainde crisisorganisatie die in staat is sneller te duiden en te besluiten, is dat deze competenties ook bij andere grote rampgebeurtenissen tot een efficiëntere besluitvorming leiden. Een positief neveneffect kan ook zijn dat minder mensen en organisaties opgeleid hoeven te worden voor deze specifieke dreigingen.

C.5 Sneller vertrekken & beter evacuatiegedrag

Met risico- en crisiscommunicatie kan het risicobewustzijn en de zelfredzaamheid van mensen worden vergroot, en daarmee neemt de kans op een succesvolle evacuatie toe. Het precieze effect op de evacuatie hangt af van de boodschap en wijze waarop deze wordt overgebracht. Het effect van communicatie kan zich uiten in een efficiënter vertrekgedrag (mensen vertrekken sneller) en een efficiëntere verplaatsing (meer mensen in een auto).

Tabel C.3: Toename evacuatiefractie sneller vertrekken

Sneller en meer gefaseerd vertrekken

Gebied	Huidige evacuatie fractie	Nieuwe evacuatiefractie na maatregel	Fase overstroming		
			voor	tijdens	na
Noord- Zuid Holland	15%	20-25%	x		
Friesland Groningen	42%	45-50%	x		
Beneden rivierengebied	12%	15-20%	x		
Rijn	76%	75-80%	x		

Sneller vertrekken

Het vertrekgedrag beschrijft hoe snel mensen overgaan tot evacueren nadat ze een waarschuwing hebben ontvangen. In de referentiesituatie is een vertrekcurve gehanteerd van 16 uur waarin mensen geleidelijk vertrekken, met de piek na 8 uur. Wanneer niet iedereen op tijd het gebied kan verlaten (evacuatiefractie kleiner dan 100%) heeft sneller vertrekken per definitie een gunstige invloed op de evacuatiefractie, omdat meer mensen het gebied kunnen verlaten. Het vertrekgedrag heeft het grootste effect op de benodigde evacuatiefractie als de benodigde evacuatiefractie voornamelijk wordt bepaald door het vertrekproces en in mindere mate door het verplaatsingsproces. Het vertrekgedrag heeft weinig effect op de totaal benodigde evacuatiefractie als de benodigde evacuatiefractie voornamelijk wordt bepaald door het verplaatsingsproces (infrastructuur en verkeersmanagement). Een neveneffect is dat door een sneller vertrek de (over)belasting van wegen kan toenemen. Dit kan leiden tot extra stagnatie.

Het effect van 'sneller vertrekken'

Door de vertrekcurve bij te stellen van 16 naar 8 uur, kan maximaal 8 uur worden gewonnen. Het effect op de evacuatiefractie is ingeschat op 25% van het effect van de maatregel waarin er 24 uur meer tijd beschikbaar is. De keuze voor 25% is gebaseerd op het idee dat de helft van de mensen al na 8 uur evacueert en het merendeel in de oude curve tussen de 4 en 12 uur nodig heeft om te gaan evacueren. Daarnaast zal er sprake zijn van enige extra stagnatie omdat wegen al overbelast zijn terwijl de piekbelasting toeneemt.

Gefaseerd vertrekken

Gefaseerd vertrekken zal niet leiden tot een hogere evacuatiefractie omdat de wegen al volledig belast zijn. Gefaseerd vertrekken kan wel gezien worden als een onderdeel van flexibel evacueren. Omdat in de huidige situatie al niet iedereen het gebied kan verlaten zal dat met gefaseerd evacueren ook niet kunnen. Wel kan prioriteit worden verleend aan bepaalde kwetsbare gebieden, mits dat te organiseren is. Andere gebieden zullen dan mogelijk verticaal moeten evacueren.

C.6 Samen vertrekken (meer mensen/auto)

Tabel C.4 Toename evacuatiefractie door samen reizen

Samen vertrekken (of beter benutten)

Gebied	Huidige evacuatie fractie	Nieuwe evacuatiefractie na maatregel	Fase overstrooming		
			voor	tijdens	na
Noord- Zuid Holland	15%	20-25%	x		
Friesland Groningen	42%	55-60%	x		
Beneden rivierengebied	12%	15-20%	x		
Rijn	76%	85-90%	x		

In de studie 'Evacuatieschattingen Nederland' (Maaskant et al. 2009) is voor de voertuigbezetting uitgegaan van 1 en 3 personen per auto, met een gemiddelde van 2,26 personen per auto. Hierbij is verondersteld dat vrijwel alle auto's het gebied (pogen) te verlaten. Bij de communicatie over de evacuatie kan worden aangedrongen op samen reizen. Een hogere voertuigbezetting kan dan op twee manieren bijdragen aan het verbeteren van de evacuatie:

- het kan bijdragen aan het verkorten van de totale evacuatielijd omdat hetzelfde aantal mensen met minder autobewegingen vervoerd kan worden; of
- het kan bijdragen aan het vergroten van de evacuatiefractie omdat met hetzelfde aantal autobewegingen meer mensen vervoerd kunnen worden.

Het effect van 'samen vertrekken'

Het effect van deze maatregel is gebiedsafhankelijk. Wanneer de voertuigbezetting toeneemt van gemiddeld 2,26 naar 3 mensen per auto neemt de benodigde evacuatielijd af met maximaal 25%. We beschouwen deze afname als een bovengrens. In veel situaties zal deze bovengrens naar verwachting niet gehaald worden, omdat praktijksituaties met evacuatie laten zien dat mensen geneigd zijn al hun voertuigen uit het gebied te evacueren. Bovendien wordt verwacht dat mensen zoveel mogelijk waardevolle spullen willen meenemen, waardoor er weinig ruimte overblijft voor extra passagiers.

De evacuatiefractie kan met maximaal 32 % toenemen omdat de groeifactor van het aantal vervoerde personen per voertuig 1.32 is (3/2.26). Dit levert een toename in de evacuatiefractie op van 5 tot 15 % in het kustgebied en meer dan 20 % in het rivierengebied. Hierbij wordt opgemerkt dat:

- dit voor alle gebieden een absolute bovengrens is wanneer iedereen de aanwijzing tot samen reizen opvolgt. In de praktijk zal slechts een deel van de mensen de aanwijzingen om samen te reizen opvolgen;
- voor het benedenrivierengebied het effect het kleinst is en voor het rivierengebied van de Rijn het effect het grootst, omdat deze in de huidige situatie respectievelijk de kleinste en de grootste evacuatiefractie hebben.

C.7 Zichtbare en herkenbare evacuateroutes

Tabel C.5 Toename evacuatiefractie door zichtbare en herkenbare evacuateroutes inzetten

Zichtbare evacuateroutes aanleggen voor een herkenbaar en goed afgestemd verkeersnetwerk

Gebied	Huidige evacuatie fractie	Nieuwe evacuatiefractie na maatregel	Fase overstrooming		
			voor	tijdens	na
Noord- Zuid Holland	15%	15-20%	x		
Friesland Groningen	42%	40-45%	x		
Beneden rivierengebied	12%	10-15%	x		
Rijn	76%	75-80%	x		

Wanneer er geen dreiging is, of wanneer de dreiging nog beperkt is kunnen er fysieke maatregelen genomen worden om de evacuateroutes goed en helder aan te geven (en te communiceren). Denk hierbij aan borden langs de weg met routes en maatregelen. Bij een evacuatie verbetert dit de doorstroming van het verkeer. Deze maatregel is van dezelfde aard als het optimaliseren van het verkeersmanagement, maar zal minder effect hebben omdat het

verkeer minder intensief gestuurd wordt. Er worden geen fysieke middelen ingezet zoals verkeersregelaars, het afzetten evacuatielroutes en dergelijke. Voordeel is wel dat dergelijke routes onafhankelijk zijn van elektriciteit, ICT en DRIP's, waardoor ze ook werken wanneer andere communicatievormen falen. Ook hoeven er geen besluiten te worden genomen omdat deze routes reeds vastliggen.

Effect 'Zichtbare evacuatielroutes aanleggen'

In de referentiesituatie is in de evacuatiemodellen rekening gehouden met een kwalitatief slechte (worst case), gemiddelde en goede (best case) uitvoering van de evacuatie. In de evacuatiefractie wegen deze drie uitvoeringen respectievelijk voor 20%, 60% en 20% mee. Het effect van zichtbare evacuatielroutes is bepaald door een iets gunstiger verdeling dande referentiesituatie, maar een minder gunstige verdeling te hanteren dan bij de maatregel verkeersmanagement (paragraaf C.8). De best case uitvoering is voor 45% meegewogen, de worstcase voor 15%. De gemiddelde uitvoering heeft dan een kans van 40%. De maximale toename in evacuatiefractie is beperkt en varieert tussen de 3% en 4%. Dit effect is met name het gevolg van minder verstoringen in de uitvoering en betere benutting van de beschikbare weginfrastructuur.

Neveneffecten bij de maatregel zichtbare evacuatielroutes aanleggen

- Deze routes kunnen ook ingezet worden bij andere, lokale calamiteiten waarbij buurten moeten evacueren omdat deze routes als het goed is zo ontworpen zijn dat de doorstroming efficiënt is.
- Een tweede positief neveneffect is dat de routes fysiek in het landschap zichtbaar zijn, zodat mensen zich bewust worden van het risico.

C.8 Verkeersmanagement 'extreme events'

Verkeersmanagement optimaliseren kan op meerdere manieren, passief door verbeterde routes en doorstroming of actief door tijdens de evacuatie het verkeer optimaal te verdelen over het netwerk. Ook kan door communicatie voorkomen worden dat groot verkeer (aanhangers, vrachtwagens) tijdens de evacuatie de weg op gaat.

*Tabel C.6 Toename evacuatiefractie door optimalisatie verkeersmanagement
Verkeer beter verdelen, capaciteit optimaal inzetten en behouden*

Gebied	Huidige evacuatie fractie	Nieuwe evacuatiefractie na maatregel	Fase overstroming		
			voor	tijdens	na
Noord- Zuid Holland	15%	15-20%	x		
Friesland Groningen	42%	45-50%	x		
Beneden rivierengebied	12%	20-25%	x		
Rijn	76%	75-80%	x		

Wanneer het verkeer beter verdeeld wordt, wordt de wegcapaciteit beter benut, treden er minder ongelukken op en verloopt de evacuatie beter. De evacuatie verloopt dus sneller dan in de referentiesituatie. Het verkeer optimaal verdelen tijdens de evacuatie is een vorm van actief verkeersmanagement.

Effect 'Verkeer beter verdelen, capaciteit optimaal inzetten en behouden

In de referentiesituatie weegt een kwalitatief gemiddelde uitvoering van de evacuatie het zwaarst mee (60%). De kans op een worst case of een best case uitvoering wegen beide voor 20% mee. Het effect van het optimaliseren van verkeersmanagement is berekend door de kans op een best case uitvoering van de evacuatie te vergroten van 20% naar 60%. De gemiddelde uitvoering krijgt dan een weging van 30% en de worst case een weging van 10%. De maximale toename in evacuatiefractie varieert daardoor tussen de 4 en 13%. De grootste toename is voor het benedenrivierengebied en de kustgebieden, doordat op het moment van de overstroming nog veel mensen zich in deze gebieden bevinden.

Neveneffecten bij de maatregel 'verkeer beter verdelen, capaciteit optimaal inzetten en behouden'

Ook bij andere grote rampgebeurtenissen die dagelijkse en jaarlijkse extremen overstijgen (bijvoorbeeld, incidenten die maar eens in de 10 jaar voorkomen) zal dit een positief effect hebben.

Indien deze maatregel gekoppeld is aan de capaciteit van de infrastructuur (bv. van op- en afritten) en het benutten van sturingsmiddelen zoals calamiteitendoorgangen die worden gebruikt om verkeer van de ene baan naar de andere te leiden of op- en afritten met toeritdosering, kan het neveneffect nog worden vergroot voor andere drukke periodes.

Beperkingen in gebruik aanhangers/vrachtwagens

Als voorkomen kan worden dat groot verkeer (aanhangers, vrachtwagens) tijdens de evacuatie de weg op gaat is er meer wegcapaciteit beschikbaar voor het evacueren van personen en is vooral de kans op verstoringen (door ongelukken) kleiner. Hierdoor is de kans groter dat er meer mensen zijn die succesvol het gebied kunnen verlaten. Het effect hiervan op de totale evacuatiefractie zal gering zijn, en wordt geschat op enkele procenten omdat mensen hun gedrag hieromtrent moeilijk laten sturen.

Neveneffecten bij de maatregel Beperkingen in gebruik aanhangers/vrachtwagens

Hierbij lijken geen neveneffecten te zijn. Het is daarbij wel belangrijk dat niet wordt ingezet op handhaving, omdat dit zou leiden tot een toename in de belasting van personeel of congestie indien voertuigen worden stilgezet op evacuatielroutes. Wanneer wel zou worden ingezet op handhaving kan de maatregel een negatief effect op de evacuatiefractie hebben.

C.9 Flexibele evacuatiestrategie*Combineren van preventieve en verticale evacuatie in een flexibele evacuatiestrategie*

Een flexibele evacuatiestrategie combineert preventief en verticaal evacueren en is erop gericht dat alle inwoners voor de doorbraak een (relatief) veilige plek hebben bereikt. Hierbij wordt ernaar gestreefd dat zoveel mogelijk mensen het gebied kunnen verlaten, en dat mensen die (noodgedwongen) verticaal evacueren een plek vinden waar zij enige tijd kunnen overleven. Op voorhand is niet bekend hoeveel tijd beschikbaar is voor evacueren, daarom kan niet op voorhand gezegd worden of preventief of verticaal evacueren in een specifieke situatie het beste is. Een praktische manier om flexibel evacueren vorm te geven kan zijn om in de uitgangssituatie in te zetten op verticaal evacueren en risicovolle gebieden preventief te evacueren als hier voldoende tijd voor is.

Deze maatregel heeft geen effect op de evacuatiefractie (of wellicht een klein negatief effect omdat besluitvormers het risico op blootstelling aan de overstroming willen voorkomen en voorzichtig zijn met preventief evacueren). Deze maatregel heeft wel effect op het aantal

slachtoffers omdat de omstandigheden waarin mensen worden blootgesteld aan een overstroming verbeteren. Dit komt met name doordat het aantal mensen dat tijdens een preventieve evacuatie wordt blootgesteld aan het water afneemt, en mensen zich beter voorbereiden om enige tijd te overleven en zichzelf (en anderen) te redden. Het aantal slachtoffers kan hierdoor met een factor 2 dalen, zowel in het kustgebied als in het rivierengebied, zie de studie 'Effect van de maatregel 'verticaal evacueren' (Klijn et al 2014). In deze studie zijn voor 3 dijkringen (dijkring 14 en 6 voor de kust en 43 voor het rivierengebied) analyses uitgevoerd naar de impact op het groepsrisico. Bij deze inschatting is aangenomen dat in iedere mogelijke dreigingssituatie de meest effectieve keuze wordt gemaakt (dat wil zeggen, de keuze die leidt tot het laagste aantal verwachte slachtoffers).

Neveneffecten bij de maatregel flexibel evacueren

- Door deze maatregel kan de reddingsoperatie mogelijk efficiënter worden uitgevoerd. Het is beter bekend waar mensen verblijven en mensen kunnen betere maatregelen nemen om na een overstroming te overleven of zichzelf te redden.
- Het is noodzakelijk dat iedere regio zicht heeft op mogelijk locaties voor verticaal evacueren in woningen en publieke gebouwen (voor groepen). Het is eveneens van belang dat mensen bekend zijn met de mogelijkheid van verticaal evacueren. Crisisorganisaties moeten in staat zijn om te bepalen wat de meest effectieve strategie is en daarover met de bevolking communiceren.
- De uitvoeringsrisico's kunnen worden gereduceerd door een basisstrategie voor te schrijven. Door in de uitgangssituatie verticaal te evacueren kan iedereen zelfstandig starten met evacueren en zichzelf voorbereiden. Indien er tijd is en de overheid krijgt het georganiseerd, kan gefaseerd en meer selectief preventief worden geëvacueerd om alsnog zoveel mogelijk mensen het gebied uit te krijgen.
- Indien de shelters op voorhand bekend zijn, en de informatie over vluchtmogelijkheden in woningen actief wordt uitgedragen kan dit ook bijdragen aan het vergoten van bewustzijn van overstromingsrisico's.

Alternatief: Effect van de maatregel 'verticaal evacueren' als alternatief voor preventief evacueren

Het effect van verticaal evacueren als alternatief voor preventief evacueren kan in de kustgebieden leiden tot een daling van het aantal slachtoffers met grofweg 50% (Klijn et al. 2013; Kolen 2013). Dit komt door de korte voorspeltijd van stormsituaties langs de kust die een overstroming veroorzaken (orde 1 dag van te voren). Alleen in uitzonderlijke gevallen (als er veel tijd beschikbaar is) zal een preventieve evacuatie langs de kust effectiever zijn.

Voor het rivierengebied zal enkel en alleen inzetten op verticaal evacueren leiden tot een toename van het aantal verwachte slachtoffers, gezien de grotere voorspeltijd en de goede mogelijkheden voor een preventieve evacuatie. Verticaal evacueren in het rivierengebied is alleen effectiever dan preventief evacueren in geval er weinig tijd is, de uitvoering chaotisch is, of in geval van onverwachte gebeurtenissen (Klijn et al, 2013; Kolen 2013).

Neveneffecten bij de maatregel verticaal evacueren (als alternatief voor preventief evacueren)

Wanneer mensen tijdens een verticale evacuatie worden blootgesteld aan een overstroming, komen ze in een situatie terecht waarin ze zonder hulp van buiten enige dagen moeten zien te overleven. De omstandigheden worden gekenmerkt door schaarste aan voedsel en drinkwater en een gebrek aan nutsvoorzieningen en communicatiemiddelen. Deze situatie kan op korte termijn (na de overstroming) leiden tot psychische klachten, die zich op langere termijn kunnen ontwikkelen tot meer structurele angststoornissen en post traumatische stress (zie o.a. Terpstra 2011).

Een positief effect van de voorbereiding op verticale evacuatie door overheden, is een toename van de communicatie over overstromingsrisico's (bijvoorbeeld, door mensen te wijzen op shelters). Hierdoor neemt het risicobewustzijn van mensen toe.

C.10 Capaciteit infrastructuur verruimen

Tabel C.7 Toename evacuatiefractie door uitbreiden capaciteit infrastructuur

Gebied	Huidige evacuatie fractie	Nieuwe evacuatiefractie na maatregel) bij 5% tot 20% extra wegcapaciteit'	Fase overstroming		
			voor	tijdens	na
Noord- Zuid Holland	15%	15-20%	x		
Friesland Groningen	42%	45– 50%	x		
Beneden rivierengebied	12%	10-15%	x		
Rijn	76%	80 – 90%	x		

Wegcapaciteit vergroten

Door tijdig te investeren in wegcapaciteit, bijvoorbeeld door het toevoegen van rijstroken, vluchtstroken en spitsstroken neemt het aantal mensen dat op tijd het gebied kan verlaten toe. De investeringskosten voor fysieke verruimingen van de wegcapaciteit bedragen vele miljarden euro's. Het vergroten van de wegcapaciteit ten behoeve van evacuatie is naar verwachting dus vooral een meekoppelkans bij geplande infrastructurele werkzaamheden. Het inzetten van andere vervoermiddelen, zoals treinen en schepen, heeft tijdens een evacuatie naar verwachting weinig effect, omdat autobezitters sterk geneigd zijn met hun auto te evacueren. Wanneer er sprake is van extreme weersomstandigheden zullen er op het spoor veel verstoringen optreden. Ten aanzien van schepen is de verwachting dat er sprake zal zijn van vaarverboden om waterkering niet extra te belasten.

Effect van de maatregel 'wegcapaciteit vergroten'

Een toename van wegcapaciteit met 5% leidt tot een toename van de evacuatiefractie met 0-4%; een toename van de wegcapaciteit met 20% leidt tot een toename van de evacuatiefractie met 3 -15% (Kolen en Terpstra 2012). In Tabel C.7 deze toenames verwerkt in een bandbreedte.

- Het effect is het grootst in het Rijngebied, omdat daar de capaciteit van de wegen de beperkende factor is. Extra rijstroken toevoegen geeft in bepaalde gevallen een verdubbeling van de wegcapaciteit.
- Aan de westkust is het effect het kleinst, aangezien daar de hoeveelheid te evacueren personen de beperkende factor is. Vergroten van de wegcapaciteit met een extra rijstrook heeft daar relatief gezien minder effect op de evacuatiefractie. Hoewel het in zo'n dichtbevolkte gebied wel om veel mensen gaat.

Neveneffecten bij de maatregel wegcapaciteit vergroten

De maatregelen die inzetten op het structureel vergroten van de wegcapaciteit hebben direct effect op filebestrijding, maar nemen ruimte in beslag en zorgen voor extra geluids- en fijnstofoverlast.

D Achtergrondinformatie en uitgangspunten bij globale kostenschattingen

#1: Beter voorspellen				Eenmalig	kosten:	aantal:	CW:
Bijbehorende kostenposten (Meur):							
- Verbetering voorspelmodellen				Eenmalig	2	1	1,00
Totaal:							
							1-5
#2. Langer door evacueren door structurele aanpassingen of noodmaatregelen infrastructuur							CW:
Variant 1: Noodmaatregelen fysieke capaciteitsvergroting							
- Laaggelegen knelpunten tijdelijk oplossen					Kosten onbek.		10,00
- Beschermen van wegen met mobiele barrières					Kosten onbek.		10,00
- Extra informatie over de duiding							1,00
Totale kosten							som:
Totale kosten van noodmaatregelen fysieke capaciteitsvergroting*							
Kostenschatting afgerond:							5-50
* Afhankelijk of materialen aangekocht moeten worden of beschikbare van hulpdiensten en VR te gebruiken zijn							
Variant 2: Structurele maatregelen fysieke capaciteitsvergroting							
Aanpassen (aanleggen) 2 rijbanen in beide richtingen per km				Eenmalig	30	33	1000,00
Aangepast aanleggen minstens even duur zals aanleg van nieuwe wegen, voor 33 km aangepaste trajecten kosten 1 miljard							
							100-1000+
#3 Langer door evacueren door betere informatie bij stormen en na doorbraak							CW:
- regionale oefencyclus rampenplannen**				per jaar	1	2	4,80
*kosten voor 25% toegekend aan waterveiligheid							
* Incl. personeelskosten, deze hoeven niet altijd volledig aan de oefening toegeschreven							
Aanvullende opleiding hulpverleners				jaarlijks	0,3	1	1,44
Totaal							3-10
#4 Sneller duiding en besluit tot evacuatie door overheid				kosten	aantal	eenmalig	CW:
Verbetering snelheid van duiding (kostenpost alleen per VR aanwezig, kostenpost x4 gedaan voor nationale overheid)							
Professionalisering evacuatie (per VR)				0,5	4 ja		2,00
Totaal							1-5

#5. sneller vertrekken en beter gedragen					CW:
Kosten van 5 en 6 niet van elkaar te onderscheiden, daarom 1 kostenschatting voor de combinatie					
Bijbehorende kostenposten (Meur):					
- Iedere 10 jaar een nieuw landelijk impulsprogramma	10 jaar	15	1	28,80	
- Regionale risicocommunicatie campagnes*	per jaar	0,5	25	60,00	
- Landelijke informatiecampagne rampen	per jaar	1	1	4,80	
*kosten voor 25% toegekend aan waterveiligheid					
Totale kosten					
Totale kosten voorbereidingsgedrag burgers versterken					93,60
Kostenschatting afgerond (Meur)*					Kosten: 50 - 150
* uiteindelijke maatregelkosten volledig afhankelijk van frequentie en intensiteit					
#6 Samen vertrekken, meer mensen per auto					CW:
Bijbehorende kostenposten (Meur):					
- Iedere 10 jaar een nieuw landelijk impulsprogramma	10 jaar	15	1	28,80	
- Regionale risicocommunicatie campagnes*	per jaar	0,5	25	60,00	
- Landelijke informatiecampagne rampen	per jaar	1	1	4,80	
*kosten voor 25% toegekend aan waterveiligheid					
Totale kosten					
Totale kosten voorbereidingsgedrag burgers versterken					93,60
Kostenschatting afgerond (Meur)*					Kosten: 50 - 150
* uiteindelijke maatregelkosten volledig afhankelijk van frequentie en intensiteit					
#7 zichtbare evacuatie routes aanleggen voor een bekend herkend en herkenbaar netwerk					CW:
Bijbehorende kostenposten (Meur):					
- Bepalen vluchtroutes bij hoogwater per veiligheidsregio	eenmalig	0,01	25	0,25	
- Aanleg bebording routes	eenmalig	0,01 - 0,05	25	0,25 - 1,25	
- Risicocommunicatie over gebruik routes (landelijke campagne)	jaarlijks	1	1	4,80	
* kosten voor 25% toegekend aan waterveiligheid					
Totale kosten:					som:
Totale kosten voor het kenbaar maken van evacuatie routes					5,3 - 6,3
Kostenschatting afgerond:					Kosten: 3-15
#8 verkeer optimaal verdelen & capaciteit optimaal inzetten en behouden					CW:
Bijbehorende kostenposten (Meur):					
- 1 extra FTE per regio voor strategische en operationele voorbereiding voor verkeersmanagement bij extreme events	jaarlijks:	0,1	25	48,00	
- Inzet spitsstroken en CaDo's voor evacuatie	respons	0,1	1	0,10	
- Evacuatie robuust ontwerpen	jaarlijks:	0,01	25	1,20	
- Aanschaf mobiele cameras	jaarlijks:	0,01 - 0,05	25	1,2 - 6	
- Bebording aanleggen	eenmalig	0,01 - 0,05	25	0,25 - 1,25	
- Extra verkeersstuur mechanisme	eenmalig	0,05 - 0,15	25	1,25 - 3,75	
- Aanvullende nieuwe drips cado's en wegen en aanvullend VM*	eenmalig		schatting:	20,00	
* Implementatie van maatregel op basis van nut in dagelijks leven, slechts beperkt toekennen aan overstroming					
Totale kosten					som:
Totale kosten uitwerken Verkeersmanagement optimaliseren					70,00
Kostenschatting afgerond:					Kosten: 50 - 150

E Overzicht effecten van generieke maatregelen

Effect tov referentiesituatie	Voor de overstroming		Tijdens de overstroming	
	Baten		Baten	
Effect	Evacuatiefractie		Beheersing van slachtofferrisico	
1 - 5: Beperkt - Zeer effectief	Klassen 1 (<5%), 2 (ca. 5%),....., 5 (>30 %)		Klassen 1 -5: beperkt - zeer effectief	
	Effect	Toelichting	Effect	Toelichting
1. Beter voorspellen dreigende overstroming	4	Effectieve maatregel in de periode voor overstroming. Grootste procentuele toename langs de kust (orde 30%); kleinste toename in rivierengebied (orde 5 %)	-	-
2. Robuustere infrastructuur door (1) structurele of (2) noodmaatregelen	-	-	2	Robuustere infrastructuur zorgt dat kansen voor evacuatie na doorbraak en de kansen voor redding verbeteren.
3. Langer blijven evacueren obv betere dreigingsinfo (stormen en aankomsttijd water)	1-3	Langer door evacueren obv info zorgt vooral bij kustdreiging voor hogere evacuatiefractie omdat tijdens de storm nog evacuatie is. Kleinste toename in rivierengebied.	2	Goede informatie over aankomsttijden kan zorgen dat kansen voor evacuatie na doorbraak en redding verbeteren.
4. Snellere duiding en besluit tot evacuatie bij dreiging	4	Snellere duiding en besluit tot evacueren zorgt voor meer tijd voor uitvoer evacuatie	-	-
5. Sneller vertrekken - eerder vertrek & beter evacuatiegedrag	2	Effectief in gebieden waar de benodigde evacuatielijd vooral wordt bepaald door het verplaatsingsproces. Wanneer de capaciteit veel te klein is kan sneller vertrek juist leiden tot extra stagnatie	-	-
6. Samen vertrekken - meer mensen per auto	3	Meer mensen per autobeweging zorgt voor een kortere evacuatielijd dan wel grotere evacuatiefractie	-	-
7. Zichtbare en herkenbare evacuatielroutes aanleggen	2-3	Door herkenbare en zichtbare routes zijn burgers bewuster en minder afhankelijk van informatie van de overheid bij een dreigende overstroming. Draagt ook bij aan verkeersmanagement.	1	Indien relatief veilige routes kunnen worden ontwikkeld zullen die het risico verkleinen om na een doorbraak door water te worden overvallen
8. Verkeersmanagement bij extreme events optimaliseren	3	Door het verkeer beter te verdelen en de capaciteit zo goed mogelijk op peil te houden (evt door verbod vrachtverkeer) kunnen meer mensen preventief evacueren. Maatregel vooral effectief in kust en benedenrivierengebied.	2	Tijdens een overstroming kan gericht verkeersmanagement bevorderen dat evacuees veiliger onderweg zijn
9. Flexibele evacuatiestrategie hebben icm. Verticaal evacueren	1	Combineren van preventief (horizontaal) en verticaal evacueren kan zorgen voor een beter haalbare evacuatiestrategie. Bij de kust erg effectief. In het rivierengebied minder.	4	Verminderde kans overvallen te worden door water, wel een grotere opgave voor redding wanneer velen in het gebied achterblijven (geldt vooral voor kust en benedenrivieren).
10. Capaciteit van infrastructuur vergroten	1-3	Bij een uitbreiding van de wegcapaciteit kunnen meer mensen het bedreigde gebied op tijd verlaten. Effect het grootst in rivierengebied, het kleinst in het westelijke kustgebied.	-	-