



TNO-rapport

2008-D-R1321/A

TNO Position paper
**Ruimtelijk-economische effecten
van overstromingen
Casus Maeslantkering**

Innovatie en Ruimte
www.tno.nl

T + 31 15 269 68 29
F + 31 15 262 43 41

Van Mourik Broekmanweg 6
Postbus 49
2600 AA Delft

www.tno.nl
info-BenO@tno.nl

Datum 29 december 2008

Auteur(s) Olaf Koops
Drs. Wouter Jonkhoff
Prof.ir. Ton Vrouwenvelder
Ir. Elmer Rietveld
Dr. Olga Ivanova

Projectnummer 034.86108

Aantal pagina's 43 (incl. bijlagen)

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Voorwoord

Deze onderzoeksrapportage is het product van een meerjarig kennis-investeringstraject dat door TNO is ingezet. De publicatie valt binnen een serie position papers die vanuit TNO is opgesteld inzake de impact van klimaatverandering op de gebouwde omgeving. Het doel van de kennisinvesteringen is het op consistente wijze in beeld kunnen brengen welke gevaren klimaatverandering met zich mee brengt voor de waterveiligheid in Nederland. Daarbij wordt getracht deze risico's op monetaire wijze in beeld te brengen. Het inschatten van overstromingsrisico (kans op overstromingen en de schade die dit met zich meebrengt) geschiedt tegenwoordig op veel verschillende manieren in Nederland. In kostenbatenanalyse speelt overstromingsrisico vooralsnog een bijrol. Binnen het traject is zomer 2008 het rapport *Economische effecten van klimaatverandering* verschenen. De voorliggende publicatie kan worden gezien als een vervolgstap. Er is een vernieuwde en uitgebreide versie van RAEM toegepast en er is voor het eerst gebruik gemaakt van het model PC-RING uit VNK om toekomstige overstromingskansen in te schatten. Deze studie is daarmee vooral een effectstudie van strategieën voor het gebied rond de Maeslantkering.

Wij hopen met deze publicatie een constructieve bijdrage te leveren aan het debat rond klimaatadaptatie.

De auteurs

Inhoudsopgave

	Voorwoord	2
1	Inleiding	5
2	Waterveiligheid en economie	7
3	Rekenen aan waterveiligheid	11
3.1	PC-Ring.....	11
3.2	HIS-SSM.....	13
3.3	RAEM.....	15
4	Casus Maeslantkering	22
4.1	Overstromingskansen.....	24
4.2	Schadeberekeningen in HIS-SSM.....	26
4.3	Vergelijking projectalternatieven.....	32
5	Conclusies	34
6	Onderzoeksagenda	35
7	Referenties	37
	Bijlage(n)	
	Bijlage 0 Overzicht overstromingsscenario's	
	Bijlage 1: HIS-SSM schadeberekening in projectalternatief Gevolgreductie	
	Bijlage 2: Resultaten RAEM	
	Bijlage 3: Het optellen van schadebedragen uit HIS-SSM en RAEM	
	Bijlage 4: Resultaten casus Maeslantkering	

Lijst van figuren en tabellen

Figuur 1:	Foutenboom voor dijkringanalyse.....	12
Figuur 2:	Korte en lange termijn schade van een overstroming.....	21
Figuur 3:	Projectgebied, dijkringen en gekozen bressen.....	24
Tabel 1:	Schadeposten in HIS-SSM.....	14
Tabel 2:	Ontbrekende schadeposten in HIS-SSM.....	14
Tabel 4:	Invoer overstromingen in RAEM.....	19
Tabel 5:	Overstromingskansen in 2015 en 2050 per projectalternatief, uitgedrukt als herhalingsstijd (overstromingskans per jaar per dijkring is 1/herhalingsstijd).....	25
Tabel 6:	Gemiddelde schade per dijkring van een overstroming in 2008 en 2040, in miljoenen euro's, op basis van HIS-SSM.....	27
Tabel 7:	Gemiddelde schade per dijkring van een overstroming in 2008, onderverdeeld naar schade posten, in miljoenen euro's.....	28
Tabel 8:	Gemiddelde schade per dijkring van een overstroming in 2040, met en zonder gevolgreductie, in miljoenen euro's.....	28
Tabel 9:	Gemiddelde schade per dijkring van een overstroming in 2040, met en zonder superdijk, in miljoenen euro's.....	29
Tabel 10:	Gemiddelde schade per dijkring van een overstroming in 2008, in miljoenen euro's.....	30
Tabel 11:	Schade in dijkring 14 van een gemiddelde overstroming in 2008, in miljoenen euro's.....	32
Tabel 12:	Overzicht overstromingsrisico in 2050 in nulalternatief en drie projectalternatieven, uitgedrukt in miljoenen euro's per jaar.....	32
Tabel B0:	Overzicht van bressen per dijkring.....	39
Tabel B1:	Schadefuncties eengezinswoningen en boerderijen vergeleken met schadefunctie van industrie.....	40
Tabel B2:	Gemiddelde schade per jaar per dijkring van een overstroming in 2008, in miljoenen euro's, op basis van RAEM.....	41
Tabel B3:	Gemiddelde schade per dijkring van een overstroming in 2008, in miljoenen euro's, op basis van RAEM en HIS-SSM.....	42
Tabel B4:	Overzicht totale schade overstroming in 2040 in nulalternatief en drie project-alternatieven.....	43
Tabel B5:	Overzicht overstromingskansen in 2050 in nulalternatief en drie projectalternatieven.....	43

1 Inleiding

Het debat over klimaatverandering kan als verhit worden omschreven. De meningen onder politici, wetenschappers en opiniemakers lopen sterk uiteen. De belangrijkste reden hiervoor is de grote mate van onzekerheid die rond de impact en het tempo van door mensen veroorzaakte klimaatverandering bestaat. Er bestaan belangrijke aanwijzingen dat de gemiddelde temperatuur op aarde door emissies van fossiele brandstoffen in een in geologisch opzicht zeer snel tempo aan het oplopen is. Sluitend bewijs hiervoor bestaat echter niet.

Beleidsvraagstukken rond klimaat vallen onder te verdelen in mitigatie en adaptatie. Mitigatie draait om het beperken van klimaatverandering door te trachten de uitstoot van fossiele brandstoffen af te remmen. Adaptatie draait om het zich aanpassen aan een veranderend klimaat. In Nederland is adaptatie een belangrijk vraagstuk, vooral omdat ons land voor tweederde onder de zeespiegel ligt en onderhevig is aan bodemdaling en verzilting. Vanuit adaptatieoogpunt, maar ook in historisch perspectief, vormt waterveiligheid een centrale beleidsopgave. Dit geldt niet alleen voor overstroming vanuit de zee maar ook voor overstroming vanuit de rivieren in de Rijndelta, die in Nederland is gelegen. Laag Nederland is daarbij opgedeeld in zogeheten dijkringen, gebieden met een samenhangende waterbescherming.

Waterveiligheid geldt als een collectief goed. Niemand in een dijkkring kan van het genieten van veiligheid tegen overstromen worden uitgesloten. Bovendien hangt de veiligheid in dijkringen onderling samen, zodat bovenregionale coördinatie nodig is. Maatschappelijke kosten-batenanalyse vanuit een breed welvaartspectief kan antwoord geven op de vraag welke collectieve goederen welvaartverhogend zijn. Kosten-batenanalyse kan dan ook worden toegepast op beleidsalternatieven voor waterveiligheid.

Economische afweging van overstromingen in Nederland gaat uit van overstromingsrisico. Het overstromingsrisico wordt bepaald als het product van de overstromingskans en de overstromingsschade. In 1960 zijn, naar aanleiding van de watersnoodramp in Zeeland van 1953, normen opgesteld voor overstromingskansen (Deltacommissie 1960). Aan de grootste dijkringen in Nederland werd een maximale overstromingskans van 1 op 10.000 jaar als veiligheidsnorm vastgesteld. Dit betekent dat dijken een hoogwater moeten kunnen keren dat zich naar verwachting eens in de 10.000 jaar voordoet. Deze norm was mede gebaseerd op de uitkomst van de economische som van Van Dantzig, hoewel Van Dantzig de uiteindelijk gekozen normen altijd onverantwoord laag heeft gevonden. De huidige Wet op de waterkering bouwt nog steeds op deze veiligheidsnormen. Tegenwoordig worden de waterkeringen om de vijf jaar getoetst aan de normen. Begin 21^e eeuw voldeed ongeveer een vijfde van de dijken niet aan de gestelde norm (Klijn e.a. 2004).

Omdat er onvolledige informatie bestaat over het tempo en de impact van klimaatverandering, moet de samenleving een risicohouding kiezen bij het afwegen van investeringsbeslissingen (Stern 2007). Een veelgebruikt keuze-instrument voor investeringsafwegingen is kosten-batenanalyse. Kosten-batenanalyse neemt impliciet een risiconeutrale houding van de maatschappij aan, maar dit stemt niet

overeen met de werkelijke besluitvorming. Tal van factoren bepalen de maatschappelijke voorkeur. Hierbij kan worden gedacht aan openbare financiën, de economische en politieke conjunctuurcyclus, de vraag of er zich recent overstromingen hebben voorgedaan en de publieke opinie. Ofwel wordt uitgegaan van een minder risicomijdende houding en een hoger overstromingsrisico geaccepteerd, ofwel er wordt een meer risicomijdende houding gekozen met investeringen om de normen tot maatschappelijk gewenste niveaus te handhaven.

Het onderhavige paper gaat in op een van de in Kennis voor Klimaat aangewezen hotspot-gebieden: het Rijnmond-gebied met Rotterdam en Dordrecht als belangrijkste steden. De regio Rotterdam is de hotspot waar het belangrijkste klimaatissue overstromingsrisico is. Een aantal oplossingsrichtingen voor het verbeteren van de waterveiligheid in de regio Rotterdam zijn beoordeeld op het effect op het overstromingsrisico. Doel van het paper is om economische issues aan te dragen die van belang zijn in het klimaatdebat, in het bijzonder in relatie tot waterveiligheid. Er is een case uitgewerkt voor het verbeteren van de waterveiligheid in het gebied achter de Maeslantkering. Hierbij is gerekend aan de overstromingskansen en de overstromingsschade in het gebied. Bij overstromingskansen ligt de nadruk op het inpassen van klimaatscenario's in projectalternatieven. Bij overstromingsschade wordt de fysieke schade van een overstroming aangevuld met lange termijn economische schade.

2 Waterveiligheid en economie

In het debat over waterveiligheid kan economische kennis op een aantal thema's een belangrijke bijdrage leveren. Waterkeren gaat in de eerste plaats over veiligheid. Maar in de besluitvorming over waterkeringen spelen veel meer aspecten een rol. Bij alle beslissingen worden ook economische, milieu-, cultuurhistorische en andere maatschappelijke belangen meegewogen. Het zijn processen waarin vele partijen betrokken zijn, ieder vanuit een eigen specifieke visie, doelstelling, belang of overtuiging. Economische kennis kan hierbij een belangrijke bijdrage leveren door de beschikbaarheid van methoden om vanuit welvaartsperspectief een zo goed mogelijke afweging te maken tussen verschillende oplossingsrichtingen voor het verbeteren van de waterveiligheid van Nederland. Een andere belangrijke uitdaging voor economen is het berekenen van de effecten van een overstroming op de welvaart van Nederland en de overstroomde regio. De schadeposten van een overstroming zijn op te delen naar slachtoffers, fysieke schade en economische schade. De totale schadeomvang wordt berekend aan de hand van economische waarderingsmethoden. Tot slot kunnen economen kennis inbrengen voor de financiering van maatregelen voor dijkverbetering en het financieren van schade als gevolg van een overstroming.

Maatschappelijke kosten-batenanalyse

Voor het maken van een afweging tussen verschillende investeringsmaatregelen voor het verbeteren van de waterveiligheid zijn verschillende afwegingsmethodieken van toepassing. Maatschappelijke kosten-batenanalyse en Multi-criteria-analyse zijn de meest voorkomende afwegingsmethoden bij vraagstukken op het gebied van ruimtelijke ordening. Voor beleidsmakers bieden deze afwegingsmethodieken een belangrijk houvast in het maken van een rationele afweging tussen verschillende investeringsalternatieven. Bij een maatschappelijke kosten-batenanalyse worden alle mogelijke kosten en baten van ieder investeringsalternatief tegen elkaar afgewogen en gemonetariseerd om zo op objectieve wijze een keuze te kunnen maken tussen verschillende investeringsalternatieven. De kosten-batenanalyse is een methode die goed is verankerd in de welvaartstheorie en kent een lange traditie in de economische wetenschap. Bij een multicriteria-analyse worden niet alle posten gemonetariseerd omdat bij veel posten de monetarisatie niet onomstreden is. Zo zijn in geval van natuur veel posten niet geprijsd omdat er geen markt voor is. Ook het monetariseren van een mensenleven is hiervan een voorbeeld.

Het risicobeheer van dijkringgebieden is gebaseerd op kosten-batenanalyses van de Deltacommissie uit 1960 naar aanleiding van de watersnoodramp uit 1953. De vastgestelde normen zijn gebaseerd op de potentiële overstromingsschade. De normen zijn in de periode 1960-2008 wel herzien maar er heeft nooit een nieuwe kosten-batenanalyse plaatsgevonden. Dit terwijl de potentiële overstromingsschade wel sterk is toegenomen de afgelopen decennia als gevolg van bevolkingsgroei en welvaarts-groei. Bovendien is veiligheid een luxe goed, dat wil zeggen dat de vraag ernaar progressief toeneemt naarmate het inkomen stijgt. De veiligheidsnormen zouden daarom verder moeten stijgen.

In Nederland is een leidraad opgesteld die als uitgangspunt fungeert voor het verrichten van kosten-batenanalyses, de zogenoemde OEI Leidraad (Overzicht

Effecten Infrastructuur; Eijgenraam e.a., 2000). Deze leidraad is genoemd naar het Onderzoeksprogramma Economische Effecten van Infrastructuur. Sinds 2000 is het verrichten van een kosten-batenanalyse met de OEI Leidraad als basis verplicht gesteld bij grote investeringen in infrastructuur. In de OEI Leidraad wordt onderscheid gemaakt tussen investeringen in puntinfrastructuur en lijninfrastructuur. Investeringen in waterveiligheid laten zich het best vergelijken met puntinfrastructuur. De OEI-leidraad voorziet echter niet in specifieke vraagstukken en onzekerheden die een belangrijke rol spelen bij investeringen in waterveiligheid.

Effectberekeningen van een overstroming

Een ander aspect van waterveiligheid waar economische kennis nodig is, is bij het waarden van de schade van een overstroming. In Nederland wordt de schade van een overstroming berekend door het Hoogwater Informatie Systeem (HIS) van Rijkswaterstaat. Dit is een geautomatiseerd informatiesysteem, dat actuele en eenduidige informatie biedt over de bedreigde plekken in de waterkeringen tijdens een hoogwatersituatie, de mogelijke gevolgen bij falen en de effecten van maatregelen om slachtoffers en schade te beperken. De Schade- en Slachtoffer Module (SSM) van het HIS systeem kwantificeert en monetariseert de effecten van overstromingen.

HIS-SSM concentreert zich bij de berekeningen op de directe effecten van een overstroming tijdens en vlak na een overstroming. Maar ook op lange termijn heeft een overstroming mogelijk negatieve gevolgen door aangepast gedrag van inwoners en bedrijven na een overstroming. De gevolgen van de orkaan Katrina zijn hiervan een goed voorbeeld. Voor de regio rond New Orleans is de economische schade op lange termijn van het niet terugkeren van 150.000 inwoners misschien wel een zwaarder verlies dan de 100 miljard dollar schade.

Naast de directe schade in het overstroomd gebied tijdens en in de periode vlak na de overstroming, heeft een overstroming ook gevolgen voor de omliggende gebieden. De indirecte schade die hier optreedt, is het gevolg van vraaguitval van afnemers uit het overstroomd gebied of van toeleveranciers uit het overstroomd gebied die geen goederen en diensten meer kunnen leveren. Maar ook het uitvallen van infrastructuurnetwerken, zoals wegen en elektriciteit, heeft nadelige gevolgen voor het omliggende gebied. Daarnaast kunnen er indirecte effecten optreden op de arbeidsmarkt en woningmarkt. Overigens kunnen er ook gebieden zijn die positieve indirecte effecten hebben als gevolg van regionale verschuivingen van vraag en aanbod.

Ook kan een overstroming op lange termijn diepe sporen nalaten in de ruimtelijke economische structuur van het overstroomd gebied. Mensen en bedrijven kunnen een andere houding aannemen tegenover het overstromingsrisico. Dit kan op lange termijn grote economische gevolgen hebben voor een regio. Doordat we sinds 1953 geen grote overstroming meer hebben meegemaakt, hebben mensen de neiging het overstromingsrisico te onderschatten. In de literatuur wordt dit het “certainty-effect” genoemd, waar mensen het kleine risico op een heel groot verlies neigen te negeren en daarmee risicozoekend gedrag vertonen. Na een overstroming is men zich bewust van het overstromingsrisico en zal er mogelijk ook een overreactie kunnen plaatsvinden in het aanpassingsgedrag van mensen en bedrijven. Bedrijven kunnen wegtrekken of hun investeringen in de regio afbouwen. Ook mensen

kunnen verhuizen naar veilig gelegen gebieden. Voor de economische potentie van een regio kan dit enorme gevolgen hebben. Nationaal kan deze herallocatie van productiefactoren negatieve maar ook positieve welvaartseffecten hebben door een verandering in de efficiency van de Nederlandse economie. Wereldwijd onderzoek naar de lange termijn gevolgen van grote rampen laat zien dat de rol van de overheid bij de herstelwerkzaamheden cruciaal is voor de omvang van de lange termijn gevolgen. Deze blijven relatief beperkt als de overheid snel en adequaat investeert in het herstel van de verloren infrastructuur (wegen, elektriciteit, watervoorziening, dijken).

Financieringsvraagstukken

Een ander belangrijk aspect is de financiering van de grootschalige investeringen die nodig zijn om de waterveiligheid in Nederland te verbeteren. De commissie Veerman schat daarbij dat jaarlijks circa 1 á 1,5 miljard euro nodig is voor de komende 100 jaar (Deltacommissie, 2008). Ter financiering oppert zij daarbij de oprichting van een Deltafonds, dat gefinancierd wordt door aardgasbaten. Hoewel de kosten enorm lijken, gaat het over slechts 0,2 á 0,3 procent van het bruto nationaal inkomen op jaarbasis. Eerder becijferde De Nederlandsche Bank al dat het investeren in waterveiligheid Nederland relatief bescheiden kosten impliceert (DNB, 2007). De komende decennia zal de zeespiegel gestaag gaan stijgen. Aangezien Nederland in de economische lange termijn scenario's ook steeds rijker wordt, zal er een nieuw evenwicht gezocht moeten worden in de normering van onze kustverdediging. Bij het optimaliseren van de investeringsopgaven over de tijd, kunnen economische optimalisatiemodellen een belangrijke rol spelen.

Economen hebben recentelijk het privaat verzekeren van overstromingen, stormen en andere natuurrampen onder de aandacht gebracht. Nederland is één van de weinige landen waar het niet mogelijk is om je te verzekeren tegen dit soort rampen. Door klimaatverandering komen dit soort rampen in de toekomst frequenter voor en zal de schade ook groter zijn. Ondanks allerlei mogelijke investeringen in dijkverbetering, zal er altijd een 'restrisco' blijven. Ook bij hogere dijknormeringen bestaat er een kans (risico) dat een dijk doorbreekt of wordt overschreden. In andere landen is het mogelijk je te verzekeren tegen deze schade. Nederland is met haar dichtbevolkte stedelijke gebied op laaggelegen gronden erg kwetsbaar voor overstromingsgevaar. De onderlinge afhankelijkheid van dit soort rampen is groot. Als zich een ramp voordoet, dan treft dit een grote groep verzekerden. Bij een verzekering is het belangrijk dat risico gespreid kan worden over vele kleine rampen. Een ander probleem bij verzekeringen tegen overstromingen is dat de overheid zorg draagt voor de veiligheidsnorm van de dijken. Hoewel de overheid garandeert dat geen overstromingen optreden, voldoet een deel van de waterkeringen niet aan de gestelde norm. De normen zijn op te vatten als het beschermingsniveau waarop het collectief aantrekkelijker wordt om schade te dragen dan om verder in dijken te investeren. Het juridisch kader ontbreekt op dit moment om de overheid aansprakelijk te stellen in geval er een overstroming plaatsvindt van een dijk die niet aan de norm voldoet. Dit is een belemmering voor het ontstaan van een private verzekeringsmarkt tegen overstroming.

Kostenramingen investeringen

Bij grote investeringsopgaven zien we dat de kosten vaak het begrote budget overschrijden. Bekendste voorbeeld is wel de Betuwelijn in Nederland. Bij de

beslissing tot de aanleg van de goederenlijn van Rotterdam naar het Ruhrgebied werden de kosten op 2,7 miljard euro geraamd. Inmiddels zijn de kosten verviervoudigd en is de ingebruikname van de Betuwelijn vele jaren vertraagd. Bij de aanleg van andere grote infrastructurele werken als de HSL-Zuid en de Noord-Zuidlijn in Amsterdam zien we soortgelijke problemen. De Betuwelijn is aanleiding geweest voor het introduceren van de OEI Leidraad, maar dit heeft nog niet in alle gevallen tot het gewenste effect geleid. Beleidsmakers hebben de neiging om de kosten te onderschatten en de opbrengsten te overschatten (Flyvbjerg, 2003).

Voor de grote investeringen in dijken en de verschillende alternatieven die daarvoor zijn, bestaan er veel onzekerheden omtrent de kosten van de maatregelen. Het zijn complexe investeringsopgaven waarvan de kosten bij direct betrokkenen vaak niet bekend zijn. Technische kennis in combinatie met economische kennis is nodig om dit te verbeteren.

3 Rekenen aan waterveiligheid

Het inschatten van het juiste verdedigingsniveau van het land tegen zee en rivieren kent in Nederland een lange traditie. Bij een doelmatige aanpak van investeringen in dijkverbetering moet een lokale afweging worden gemaakt voor investeringen in dijken. Per te verdedigen gebied (dijkkringen) worden daarbij de kosten en baten van verdediging tegen elkaar afgewogen. Dit impliceert het hanteren van flexibele normen per dijkkring op basis van een kosten-batenbenadering van de schade van overstromingen.

Vaststelling van overstromingsrisico's vanuit economisch perspectief vereist dat een criterium voor optimaliteit wordt vastgesteld. Zo stelt het CPB als criterium voor het bepalen van de optimale investeringsstrategie voor de kustverdediging dat iedere strategie de som van de kosten van investeringen (en onderhoud) alsmede de kosten van effecten van overstromingen moet minimaliseren (Eijgenraam, 2005). Daaruit volgt de conclusie dat de normen uit de Wet op de waterkering op een onvolledige wijze zijn vastgesteld. De invloed van economische groei en de bijbehorende schade van overstromingen op de vooraf te berekenen optimale beveiligingsniveaus wordt niet of onvoldoende meegenomen (WRR, 2006). De Wet op de waterkering gaat in 2009 op in de nieuwe integrale Waterwet.

In dit paper wordt een case uitgewerkt voor het verbeteren van de waterveiligheid in het gebied achter de Maeslantkering. In deze virtuele case wordt economische en technische kennis gecombineerd. Bij dijkverbetering gaat het om het voorkomen van het negatieve welvaartseffect van een overstroming. Om tot een juiste inschatting van het negatieve welvaartseffect te komen, zijn voor zowel de overstromingskansen als schade van overstromingen berekeningen gemaakt. PC-Ring is gebruikt voor de berekening van de overstromingskansen, de modellen HIS-SSM en RAEM voor het berekenen van de overstromingsschade. Deze modellen worden achtereenvolgens beschreven in dit hoofdstuk.

3.1 PC-Ring

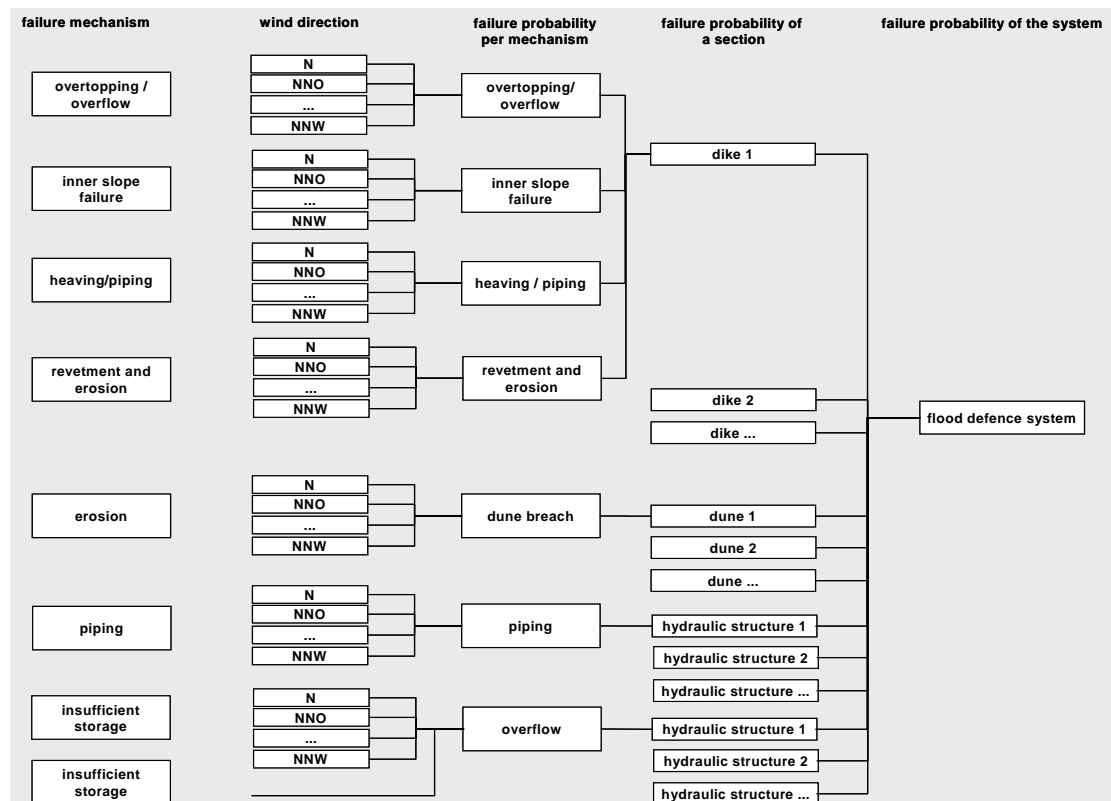
De overstromingskansen zijn berekend met het door TNO ontwikkelde computerprogramma PC-Ring (Vrouwenvelder, 1999). Dit programma, dat ontwikkeld is in opdracht van Rijkswaterstaat en gebruikt wordt in het kader van Veiligheid Nederland in Kaart (VNK), berekent de kans op overstroming van een dijkkring. Hierbij wordt aangegeven welke variabelen daarin het meest bepalend zijn, op welke plaats een overstroming het meest waarschijnlijk is, evenals de kans op verschillende overstromingsscenario's. In de komende anderhalf jaar worden alle dijkkringen in Nederland met dit programma doorgerekend.

De overstromingskansberekening

Een dijkkring is beschermd door een gesloten stelsel van duinen, dijken, hoge gronden en kunstwerken. In een PC-Ring-analyse wordt een dergelijk systeem uiteengegrafeld in de verschillende afzonderlijke elementen. Voor ieder element worden vervolgens verschillende faalmechanismen onderscheiden, zoals overslag, afschuiving en piping bij dijken, doorbraak bij duinen en piping, niet sluiten of constructief falen bij kunstwerken. Nadat eerst de afzonderlijke faalkans per mechanisme en per dijkvak of individueel kunstwerk is vastgesteld, worden de kansen samengesteld tot de faalkans voor de gehele dijkkring.

De belasting op de waterkeringen wordt in hoofdzaak gevormd door de waterstand en golven op de Noordzee aan de ene kant en de afvoer van de Rijn aan de andere kant. Aan de sterkte-kant speelt uiteraard geometrie een belangrijker rol (hoogte, taluds, bermen, voorland) alsmede de materiaaleigenschappen van de verschillende onderdelen van de kering met inbegrip van de ondergrond. Bij beweegbare kunstwerken spelen ook zaken als op tijd openen en sluiten een rol.

Figuur 1: Foutenboom voor dijkringanalyse.



Bron: TNO

Bij het bepalen van het risico is de overstromingskans van een dijkring geen direct bruikbare parameter. Dit zou alleen zo zijn als de gevolgen van overstroming altijd hetzelfde zouden zijn. Los van de inrichting van het gebied hangen de gevolgen echter af van factoren als de locatie van de doorbraak, het aantal doorbraakplaatsen, de omvang van de stroomgaten, het tijdstip van de doorbraak, de primaire oorzaak, enzovoort. Sommige doorbraken werken ontlastend op andere delen van de dijkring, in andere gevallen is daarvan geen sprake of treedt juist een verhoging van de belasting op. Dit complexe gebeuren wordt in het algemeen berekend door een aantal expliciete (elkaar uitsluitende) scenario's te definiëren en voor elk scenario afzonderlijk de kans en de gevolgen, en daarmee het risico te bepalen. Vervolgens worden de risico's opgeteld. Deze analyse is echter verre van eenvoudig en ook niet altijd nauwkeurig. Binnen Delft Cluster wordt op dit moment gewerkt aan een verbetering daarvan.

3.2 HIS-SSM

HIS-SSM is toegepast in diverse grootschalige nationale projecten, waaronder Veiligheid Nederland in Kaart (VnK), Rampenbeheersing-strategie voor Rijn en Maas (RBSO) en Ruimte voor de Rivier (RvR). Daarnaast zijn waterschappen, provincies, RWS, DGW en het CPB gebruikers van het Hoogwater Informatie Systeem. Het systeem wordt beheerd, verbeterd en onderhouden door de Dienst Weg- en Waterbouw van Rijkswaterstaat (RWS-DWW). De reden dat HIS-SSM als standaardmethode wordt gezien is de uitgebreide validatie die is uitgevoerd. Ook wordt een onafhankelijke review van de standaardmethode gemaakt door een panel van economen, die bijvoorbeeld de werkelijke schade van overstromingen in Dresden en New Orleans vergelijken met de uitkomsten van de schadefuncties in HIS-SSM.

HIS-SSM geeft een benadering van de schade die optreedt onder een variabele overstromingsdiepte, stroom- en stijgsnelheid. HIS-SSM werkt op zeer gedetailleerd geografisch niveau in rasters van 100 x 100 meter. Per raster en schadepost is de maximaal mogelijke schade bekend. De schadefunctie berekent de schade als percentage van de maximale schade en hangt af van de overstromingsdiepte, stroom- en stijgsnelheid.

De onderliggende datasets van het systeem zijn gebaseerd op zeer gedetailleerde geografische bestanden. Voorbeelden zijn gegevens over het bodemgebruik van het CBS, data over infrastructuur (wegen, sporen, gemalen), data over woningen met hun bijbehorende waarden en typering (hoogte, breedte) en data over arbeidsplaatsen en bedrijfsvestigingen. Voor toekomstige schadebepalingen is gebruikt gemaakt van output van het LUMOS model "Ruimtescanner", dat is ontwikkeld door onder andere de VU en het MNP. Dit is een land-use model waarin scenario's zijn gemodelleerd over het toekomstig ruimtegebruik en op de rasters zijn geprojecteerd.

Het derde en laatste onderdeel van de input van HIS-SSM zijn de overstromingsscenario's. Hiermee worden de GIS (raster) bestanden bedoeld voor diverse dijkkringen en dijkkringdelen, waarin modelmatig is vastgelegd hoe hoog de maximale waterdiepte in het gebied is, hoe snel het waterpeil stijgt en hoe snel het water stroomt. De belangrijkste keuze bij het opstellen van een scenario is het aantal en de locatie van doorbraken in de dijkkring. Dit kan ook het falen van bijvoorbeeld kunstwerken of duinen betekenen.

Schadetypen

In tabel 1 is een overzicht gegeven van de schadeposten die worden meegenomen in HIS-SSM. De aanpak van het opstellen van schadeposten is uitgevoerd volgens de OEI Leidraad, met een onderverdeling naar:

- Directe schade: schade die optreedt aan objecten, kapitaalgoederen en roerende goederen vanwege het directe contact met water.
- Bedrijfsuitval: directe schade die voortvloeit uit de zakelijke verliezen door productiestilstand.
- Indirecte schade ten gevolge van bedrijfsuitval: schade bij toeleverende en afnemende bedrijven buiten het dijkringgebied vanwege het (deels) wegvallen van de omzet plus schade vanwege het doorsnijden van aan- en afvoerroutes benaderd via reistijdverlies.

Tabel 1: Schadeposten in HIS-SSM

Causale benadering	Welvaarts-benadering	Nederland	Buitenland
		Geprijsde effecten herverdeling efficiëntie	Ongeprijsde effecten Herverdeling efficiëntie
Directe effecten		<i>Woningen Inboedel Voertuigen Kapitaalgoederen Landbouwgewassen en vee Infrastructuur Ruimtelijke inrichting Bedrijfsuitval</i>	<i>Dodelijke slachtoffers</i>
Indirecte effecten		<i>Effecten bij toeleverende en afnemende bedrijven buiten overstroomde gebied Doorsnijding infrastructuur (life lines)</i>	

Bron: TNO op basis van RWS

Ontbrekende schadeposten

HIS-SSM is een zeer uitgebreid model dat zijn kracht heeft in het detailniveau, de validatie van de schadefuncties en het modelleren van overstromingen. Niettemin ontbreken er een aantal schadeposten in HIS-SSM. Ook zijn de berekeningen van indirecte schade voor verbetering vatbaar.

Tabel 2: Ontbrekende schadeposten in HIS-SSM

Causale benadering	Welvaarts-benadering	Nederland	Buitenland
		Geprijsde effecten herverdeling efficiëntie	Ongeprijsde effecten herverdeling efficiëntie
Directe effecten		<i>Kosten herstel waterkering Kosten schoonmaak, Evacuatie en hulpverlening</i>	<i>Gewonden Immateriële schade bewoners Verlies van persoonlijke, onvervangbare eigendommen Maatschappelijke ontwrichting Landschap, natuur, cultuurhistorische objecten Milieuverontreiniging</i>
Indirecte effecten		<i>Uitval nutsvoorzieningen en communicatieverbindingen Grond-, woning-, en arbeidsmarkt</i>	

Bron: TNO op basis van Ministerie van Verkeer en Waterstaat

In tabel 2 is een overzicht gegeven van de ontbrekende schadeposten in HIS-SSM. HIS-SSM houdt geen rekening met de herstelkosten van overstromingen. Hieronder vallen de herstelwerkzaamheden van de waterkeringen maar ook het schoonmaakwerk, evacuatie en hulpverlening. In HIS-SSM worden verder alleen slachtoffers meegenomen. Letsel en immateriële schade bij bewoners zijn niet opgenomen in HIS-SSM. Ook de effecten op landschap, natuur en cultuurhistorische objecten (LNC-waarden) zijn niet meegenomen, evenals de mogelijke milieuverontreiniging door het vrijkomen van giftige stoffen in het water.

Indirecte schade

In HIS-SSM is aangenomen dat de hinder bij bedrijven buiten het overstroome gebied groter is dan de mogelijke baten. De indirecte schade hangt af van de omvang van de overstroming, omdat een groot deel van de toeleveranciers en afnemers zich binnen het overstroome gebied bevindt. In HIS-SSM is de indirecte schade geschat met multipliers uit een nationale input-output matrix. In een input-output matrix staat de structuur van de onderlinge leveringen tussen economische sectoren weergegeven. Aangezien een deel van de toeleveranciers en afnemers binnen het overstroome gebied gevestigd zal zijn, is de multiplier vermenigvuldigd met een vaste correctiefactor van 0,25. Deze factor is arbitrair gekozen.

Het gebruik van multipliers voor het berekenen van indirecte effecten gaat uit van vaste marktverhoudingen. Er wordt geen rekening gehouden met aanpassingen van vraag- en aanbodfactoren. In de Aanvulling Indirecte Effecten op de OEI Leidraad (Oosterhaven e.a., 2004) worden daarom andere methoden aangeraden voor het berekenen van indirecte effecten, idealiter een ruimtelijk algemeen evenwichtsmodel.

Verder ontbreekt een terugkoppeling met andere markten in HIS-SSM, zoals de arbeidsmarkt en woningmarkt. HIS-SSM berekent de fysieke schade, slachtofferschade en economische schade van een overstroming. Minder duidelijk is wat de lange termijn gevolgen zijn van een overstroming. Als gevolg van een overstroming kunnen mensen besluiten om elders te gaan wonen. Bedrijven kunnen besluiten om te verhuizen, dan wel huidige investeringen af te bouwen in risicogebieden. Landbouwgronden kunnen dusdanig aangetast worden door het zoute water, dat hier een andere functie aan moet worden gegeven. Ook kan als gevolg van de overstroming het maatschappelijk veiligheidsdenken veranderen. Voor de regio heeft dit grote economische consequenties op lange termijn. Zo zijn de Deltawerken en de huidige veiligheidsnormen in Nederland het resultaat van de Watersnoodramp van 1953. Een deel van de effecten van een overstroming wordt derhalve pas op lange termijn zichtbaar.

Samenvattend kan worden gezegd dat in HIS-SSM indirecte effecten gedeeltelijk zijn meegenomen, maar dat de daarvoor gehanteerde methode voor verbetering vatbaar is.

3.3 RAEM

RAEM is een ruimtelijk algemeen evenwichtsmodel voor Nederland en is ontwikkeld door TNO in samenwerking met de Vrije Universiteit Amsterdam, Rijksuniversiteit Groningen en TM Leuven. De hele kringloop van de economie wordt beschreven voor de 40 Nederlandse COROP-gebieden in het model, met productie, werken, wonen, consumptie en handel van goederen en diensten tussen regio's, sectoren en het buitenland. Hierdoor is het mogelijk om de werking van de

indirecte effecten over alle markten mee te nemen. De terugkoppeling tussen verschillende markten zit endogeen in het model. Het model berekent integraal zowel de generatieve (netto) effecten, als de distributieve effecten van een projectalternatief. De additionele welvaartseffecten zijn vervolgens de totale welvaartseffecten minus de directe effecten. Het RAEM model is een theoretisch goed gefundeerd en volledig model in de traditie van algemeen evenwichtsmodellen.

RAEM is de laatste jaren ingezet voor het berekenen van indirecte effecten van een investering in infrastructuur. Een ruimtelijk algemeen evenwichtsmodel kan voor meerdere doelen worden ingezet. Een overstroming is ook te interpreteren als een ruimtelijke (des-)investering. Een ruimtelijk algemeen evenwichtsmodel is theoretisch het beste alternatief om indirecte effecten te berekenen. Daarnaast bieden deze modellen goede inschattingen waar de directe effecten terecht komen (Van den Bossche e.a., 1999; Oosterhaven e.a., 2004). Voorwaarde is wel dat de overstroming een bepaalde omvang en een 'permanent' karakter heeft, waardoor er mogelijk verandering optreedt in de efficiency van verschillende soorten markten (productmarkten, arbeidsmarkten, woningmarkten).

Het RAEM-model is een model dat past in de Nieuwe Economische Geografie (NEG) zoals beschreven in Fujita e.a. (1999), en bouwt voort op modellen ontwikkeld door Venables (1996) en Oosterhaven e.a. (2001). In de NEG-literatuur ligt de nadruk op agglomeratie-effecten en marktimperfecties. De basis van de nieuwe economische geografie wordt gevormd door monopolistische concurrentie op productmarkten. In tegenstelling tot de gangbare theorie van volkomen vrije mededinging hebben bedrijven in het geval van monopolistische concurrentie marktmacht en kunnen zij hun prijzen verhogen om hun winst te maximaliseren. Het lange termijn evenwicht wordt vervolgens bereikt doordat nieuwe bedrijven tot de markt toetreden bij positieve winstverwachtingen.

In de Aanvulling op de OEI Leidraad met betrekking tot indirecte effecten van infrastructuurprojecten (Oosterhaven e.a., 2004) wordt RAEM beschreven als een model van wetenschappelijk uitstekende kwaliteit. Sinds de eerste versie is het model op verschillende punten uitgebreid en verbeterd. Dit heeft tot een derde versie van het model geleid (RAEM 3.0), welke is ingezet voor dit project. Hieronder wordt een korte toelichting op de belangrijkste kenmerken van het model gegeven. Voor een uitgebreide technische documentatie van dit model wordt verwezen naar Ivanova e.a. (2007).

Kenmerken RAEM 3.0:

- *COROP-gebieden en 15 sectoren:* het ruimtelijke niveau waarop RAEM wordt gemodelleerd is het COROP-niveau, waarbij Nederland is ingedeeld in 40 gebieden. Daarnaast worden in RAEM vijftien economische sectoren onderscheiden, die gebaseerd zijn op de Standaard Bedrijven Indeling (SBI).
- *Toegesneden op de Nederlandse situatie:* het RAEM-model is zeer goed toegesneden op de specifiek Nederlandse situatie. De modelvergelijkingen zijn geschat op Nederlandse cijfers en het model wordt gevoed met materiaal over de Nederlandse regionaal economische structuur; daarmee is er een betere micro-economische onderbouwing. RAEM houdt dankzij de NEG aanpak rekening met agglomeratievoordelen.
- *Productmarkt:* Bedrijven maximaliseren hun winst onder de aanname van monopolistische concurrentie en zogeheten Dixit-Stiglitz variëteiten. Iedere sector bestaat uit bedrijven met een identieke productiestructuur die allemaal

een uniek goed of unieke dienst produceren. De eindproducten zijn imperfecte substituten van elkaar, waardoor ieder bedrijf een bepaalde monopoliemacht heeft om winst te maken. Producten worden in alle regio's verkocht, waarbij de verkoopprijs afhangt van de transportkosten en de productiekosten. Productiekosten hangen af van het loonniveau en de prijzen van intermediaire goederen in de productieregio, waarbij schaalvoordelen zorgen voor lagere productiekosten als het aantal bedrijven in een regio toeneemt.

- *Arbeidsmarkt:* Het arbeidsaanbod in een regio hangt af van het initiële arbeidsaanbod, de migratie van en naar de regio en de tijd die besteed wordt aan woon-werkverplaatsingen. De werkloosheid wordt bepaald aan de hand van de looncurve, die de relatie beschrijft tussen het vrijwillige werkloosheidspercentage en het reële loonniveau. Pendel tussen regio's wordt bepaald aan de hand van een zwaartekrachtmodel waarbij afruil plaatsvindt tussen pendelreistijd en het hoger te behalen loon. De evenwichtslonen zorgen zo voor een verbinding tussen de arbeidsmarkt en de productmarkt.
- *Migratie:* Migratie is opgenomen in RAEM 3.0 via een tweestapsmethode. Eerst wordt de keuze gemaakt of een huishouden wil verhuizen. Deze keuze hangt af van het relatieve nut in een regio ten opzicht van het gemiddelde nut in alle regio's. In de tweede stap wordt bepaald waar een huishouden heen gaat, dit hangt af van de winst in nut en de verhuisafstand op basis van het nut.
- *Woningmarkt:* In de laatste versie van RAEM is de aanwezigheid van beschikbare woningen in een regio opgenomen als additionele factor die bijdraagt aan het nut van huishoudens in een regio. De woningvoorraad is exogeen en staat vast en kan gebruikt worden als beleidsvariabele. De beschikbaarheid van woningen neemt af als het aantal inwoners in een regio toeneemt. Dit resulteert in een lagere prikkel voor huishoudens om naar een regio te verhuizen.
- *Grondgebruik:* In de laatste versie van RAEM is tevens de beschikbaarheid van land voor verschillende typen gebruik toegevoegd. Land is een belangrijke productiefactor voor economische sectoren, in het bijzonder landbouw en industrie. Samen met arbeid en kapitaal vormt land de productiefunctie van bedrijven. Er zijn in RAEM mogelijkheden tot substitutie tussen de hoeveelheid land, kapitaal en arbeid in het productieproces.
- *Kapitaalmarkt:* In de laatste versie van RAEM is de kapitaalgoederenvoorraad per economische sector en regio verdeeld in een "mobile" en "non-mobile" deel. Het mobiele inzetbare deel heeft een nationaal bepaalde prijs en is kosteloos te verplaatsen van de ene regio naar de andere regio. Door mobiel kapitaal op te nemen in het model, is het mogelijk om een lange termijn evenwicht te berekenen met aanpassingsproces op de kapitaalmarkt.
- *Korte termijn evenwicht:* Verder is RAEM recent aangepast door het opnemen van korte termijn effecten van economische veranderingen, zoals een overstroming. Deze effecten vinden plaats voor de markten weer in evenwicht zijn. De structuur van het korte termijn evenwicht is vergelijkbaar met eerdere versies van RAEM, maar het legt geen evenwichtscondities op voor de marktvergelijkingen voor pendel en migratie.

In de Aanvulling op de OEI Leidraad met betrekking tot indirecte effecten van infrastructuurprojecten (Oosterhaven e.a., 2004) is aangegeven dat additionele welvaartseffecten kunnen optreden op de productmarkt, de arbeidsmarkt en de grondmarkt, door internationale effecten en door kennis- en innovatiespillovers. Hoewel RAEM een redelijk volledig model is, kunnen niet alle additionele welvaartseffecten met RAEM bepaald worden omdat in RAEM de grondmarkt, de woningmarkt en kapitaalmarkt niet expliciet gemodelleerd worden. RAEM bepaalt zowel de generatieve (netto) effecten als de distributieve effecten die aangeven

waar en bij wie die effecten terechtkomen. Alle effecten worden integraal berekend. De additionele indirecte effecten zijn de totale welvaartseffecten minus de directe effecten. Als maatstaf voor het totale welvaartseffect is equivalente variatie gebruikt (zie box 1).

Box 1: Equivalente variatie

Equivalente variatie (EV): maatstaf voor de verandering in de welvaart van een individu ten opzichte van de situatie zonder project die optreedt als gevolg van een project. De EV is het minimum bedrag dat iemand die baat heeft bij de verandering bereid is te accepteren om van het voordeel af te zien (acceptatiebereidheid). Het is tevens het maximum bedrag dat iemand die nadeel ondervindt van een verandering bereid is te betalen om deze verandering te vermijden.

Bron: Eijgenraam e.a., 2000

De totale additionele welvaartseffecten zijn beschreven in de vorm van monetaire eenheden. Omdat alle markten via prijzen met elkaar verbonden zijn, kunnen de additionele welvaartseffecten niet naar deelmarkt worden vertaald. Wel kan kwalitatief worden aangegeven wat de richting is van de additionele welvaartseffecten op de desbetreffende deelmarkt.

RAEM modelleert alle indirecte effecten die via schaalvoordelen en productdifferentiatie op de productmarkt tot stand komen. Op de arbeidsmarkt kunnen een beperkte loonflexibiliteit en beperkte arbeidsmobiliteit leiden tot discrepanties in vraag naar en aanbod van arbeid. De projectalternatieven zouden tot een verschuiving kunnen leiden in de vraag tussen segmenten met een krappe respectievelijk ruime arbeidsmarkt. Dit kan additionele kosten en baten opleveren. RAEM heeft een modellering van de arbeidsmarkt waarbij een evenwicht gezocht wordt tussen het zoekgedrag van werkgevers en werknemers. De veranderingen in de werkgelegenheid kunnen dus grotendeels met RAEM berekend worden. Het onderscheid in opleidingsniveaus is echter niet gemodelleerd. Verschillen in opleidingsniveau kunnen leiden tot een extra mismatch op de arbeidsmarkt.

Op de grondmarkt kunnen imperfecties voorkomen door overheidsregulering in de vorm van restricties in ruimtelijke ordening en subsidies voor de vestiging van bedrijven en voor de locatie van woningen. RAEM is wel in staat om vraagzijde van de grond- en woningmarkt te modelleren, maar niet in staat om de aanbodzijde te modelleren. Met RAEM kan bepaald worden of door de projectalternatieven migratie zal plaatsvinden en in hoeverre de productie in regio's verandert door de projectalternatieven. Op grond hiervan is een inschatting gemaakt van de indirecte effecten die op de grondmarkt optreden.

Het afvloeien en toevloeien van kosten of baten van en naar het buitenland kan leiden tot additionele welvaartseffecten. In RAEM is de macro-economische koppeling met het buitenland gemodelleerd. Directe relocatie van productie en werk is echter niet gemodelleerd. Hierover zullen daarom geen uitspraken gedaan worden.

RAEM is niet in staat om kennis- en innovatie spillovers te modelleren omdat deze optreden buiten markttransacties om.

RAEM bij overstromingen

Bij een overstroming kunnen zich op verschillende manieren indirecte effecten voordoen. Ten eerste is er de uitval van infrastructuur die ook buiten het overstroomd gebied leidt tot hogere transactiekosten en productieverlies. Denk

hierbij aan de uitval van transportnetwerken (snelwegen, spoorlijnen) maar ook aan nutsvoorzieningen en communicatienetwerken (energie, drinkwater, telefoon).

Ten tweede leidt productie-uitval in het overstroomd gebied tot voorwaartse en achterwaartse effecten bij toeleveranciers en afnemers. Toeleveranciers krijgen te maken met vraaguitval en afnemers moeten op zoek naar alternatieven. Dit alternatief is te verkrijgen tegen hogere transactiekosten. Daardoor valt een deel van de vraag uit. Gedeeltelijk vindt vraagverschuiving plaats, waarbij afnemers te maken krijgen met hogere transactiekosten. Zo treedt op twee manieren welvaartsverlies op.

Ten derde zijn er indirecte effecten mogelijk op andere markten dan de productmarkt bij grootschalige overstromingen. Er vindt een terugkoppeling plaats van bedrijfsuitval en productieverschuivingen op de arbeidsmarkt en woningmarkt. Daarnaast kan bij grote schade aan woningen ook een migratiegolf leiden tot indirecte effecten op de arbeids-, grond- en woningmarkt. Deze indirecte effecten kunnen zowel negatief als positief zijn (de directe effecten zijn altijd negatief).

Het RAEM model kan indirecte effecten berekenen voor:

- Toeleverende en afnemende bedrijven buiten overstroomd gebied.
- Uitval van transportverbindingen.
- Uitval nutsvoorzieningen en communicatieverbindingen.
- Terugkoppeling arbeidsmarkt en woningmarkt.

Een overstroming kan op verschillende manieren tot invoer voor het model leiden. In tabel 4 is een overzicht gegeven van vier manieren waarop een overstroming de economische kringloop kan beïnvloeden (Koike,2007).

- a) Transportkosten van goederen in de overstroomde regio kunnen toenemen door het uitvallen van infrastructuur.
- b) Productieprocessen kunnen worden aangetast door de overlast en schade.
- c) Overstromingsschade kan leiden tot minder productiefactoren arbeid en kapitaal.
- d) Herstelwerkzaamheden kunnen leiden tot een vraagimpuls.

Indien de overstroming voldoende groot is om een permanent effect te veroorzaken op de werking van de (regionaal-)economische markten, kan dit leiden tot indirecte effecten.

Tabel 4: Invoer overstromingen in RAEM

Modelmethode	Werkelijke schade
a) Markup prijzen	Onderbreking transport en logistieke dienstverlening Uitval van water, gas en elektriciteitsvoorziening
b) Productiefuncties	Verlaging van productiviteit Verlies aan sociaal kapitaal
c) Productiefactoren	Minder arbeidskrachten voorhanden Minder kapitaal voorhanden Minder land voorhanden
d) Finale vraag	Herstellkosten

Bron: Koike (2007)

Voor de casus in dit paper is RAEM op een aantal plaatsen aangepast. De directe economische effecten voor bedrijven bestaan vooral uit het verlies aan productiefactoren land en kapitaal. Een ander direct effect is het verlies van woningen voor de overstromde regio. Dit heeft geleid tot de volgende modelaanpassingen (zie ook de boven beschreven kenmerken van RAEM):

Land is toegevoegd als productiefactor in RAEM.

Overstromingen hebben grote invloed op de beschikbaarheid van land voor de productie van goederen en diensten en hiervoor zijn maar beperkt substitutiemogelijkheden beschikbaar. Daarom is land expliciet aan het productieproces toegevoegd als inputfactor, naast arbeid en kapitaal

Vast en flexibel kapitaal

De kapitaalgoederenvoorraad van bedrijven bestaat uit vast en flexibel kapitaal. Het verschil tussen deze twee is dat flexibel kapitaal vrij verplaatst kan worden na een andere productielocatie. Tussen sectoren bestaan grote verschillen in de verhouding tussen mobiel (flexibel) en immobiel (vast) kapitaal. Dat maakt de ene sector meer flexibel om te reageren op een overstroming dan de andere. Een groter aanpassingsvermogen reduceert de omvang van de schade. Landbouw- en industriële activiteiten zijn meer plaatsgebonden dan dienstverlening. Zo brandde deze zomer het gebouw van de Bouwkundefaculteit van de TU Delft volledig af maar konden na een werkdag de colleges en activiteiten voor studenten gewoon doorgaan in noodbarakken.

Aan de hand van de balans van economische sectoren is een verdeling gemaakt naar vast en flexibel kapitaal. Materiële vaste activa en voorraden zijn immobiel, immateriële vaste activa, deelnemingen, langlopende vorderingen, kortlopende vorderingen en liquide middelen behoren tot het mobiel kapitaal.

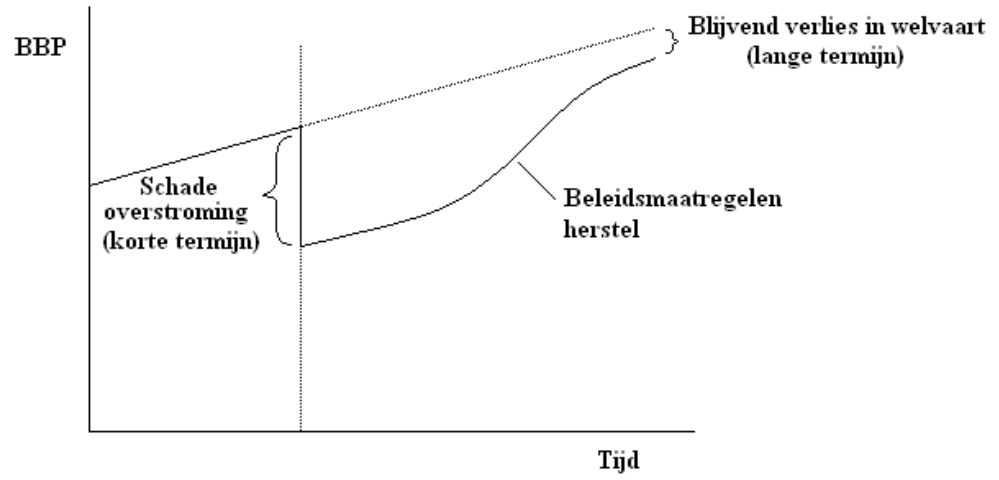
Woningmarkt

Er is een woningmarkt aan RAEM toegevoegd waarbij de woningvoorraad exogeen is. Een schok, zoals een overstroming, leidt tot een exogene afname van de hoeveelheid woningen in een regio en heeft een negatieve impact op het nut van huishoudens.

Korte termijn, middellange termijn en lange termijn evenwicht

Naast de schade tijdens en vlak na een overstroming, leidt een grote schok ook tot aanpassingsmechanismen op de middellange en lange termijn. In RAEM is het mogelijk om effecten uit te rekenen op de korte termijn (het eerste jaar), middellange termijn (1-3 jaar) en lange termijn (na drie jaar). Op de korte termijn vindt er geen aanpassing plaats in de nieuw ontstane situatie na de overstroming. Mensen raken hun huis kwijt en er ontstaat tijdelijke of permanente werkloosheid door uitval van productie. De arbeids- en woningmarkt zijn gedurende de overstroming ontwricht. Op middellange termijn komt de arbeids- en woningmarkt weer in evenwicht door een aanpassing in de pendel en migratie van getroffen bewoners. Op lange termijn is er een aanpassingsmechanisme op de kapitaalmarkt. Bedrijven heroverwegen hun investeringen. Deze modelstructuur biedt mogelijkheden om beleidsmaatregelen voor investeringen voor herstelwerkzaamheden van de overheid door te rekenen op economische effecten. Ook op middellange en lange termijn is het mogelijk dat er blijvend economische schade optreedt door het nieuw ontstane evenwicht, zoals in figuur 2 is weergegeven.

Figuur 2: Korte en lange termijn schade van een overstroming.



Bron: TNO

4 Casus Maeslantkering

De Maeslantkering is aangelegd om de laaggelegen gebieden langs de Nieuwe Waterweg, inclusief Rotterdam, te beschermen tegen hoogwaterstanden. De Maeslantkering is de laatste grote schakel in de Deltawerken. De bouw is in 1997 voltooid. Daarbij is voor deze constructie gekozen omdat op deze wijze de kades achter de kering niet opgehoogd hoefden te worden. Tegelijk maakt de kering onder normale omstandigheden scheepvaart mogelijk omdat de twee helften de doorvaart niet belemmeren. De kering is ontworpen om slechts in extreme omstandigheden dicht te gaan. Sinds de opening is de kering dan ook slechts eenmaal (in 2007) dicht geweest, afgezien van de oefensluitingen.

Klimaatverandering zal naar verwachting tot gevolg hebben dat de zeespiegel stijgt en dat het vaker en harder gaat stormen. Een gevolg kan zijn dat de frequentie dat de kering dicht moet, hoger wordt. Zeespiegelrijzing impliceert dat het zeewater dieper het land binnenstroomt door de rivieren. Als het waterpeil in Rotterdam/Dordrecht op termijn te hoog wordt om te kunnen volstaan met het frequenter sluiten van de Maeslantkering, zal de haven op de zee moeten worden aangesloten via sluizen in plaats van via de Maeslantkering. Omdat de waterwegen met elkaar in verbinding staan, zal in dat geval een samenhangend zeekeringplan voor zowel de Nieuwe Waterweg als het Haringvliet moeten worden ontworpen om Rotterdam en Dordrecht blijvend te beschermen. De vraag hoe hierbij de waterafvoer moet worden gereguleerd is een lastige. Bovendien is het deel van de Maasvlakte westelijk van de Maeslantkering niet beschermd. Zeespiegelstijging kan daar productieverstorend werken. De benodigde investering bij zeespiegelstijging is derhalve fors. Om toch aan de maatschappelijk gewenste veiligheidsniveaus te kunnen voldoen, is ingrijpen noodzakelijk. In deze case worden een aantal oplossingsrichtingen globaal getoetst op effecten.

Projectgebied

Het achterland van de Maeslantkering bestaat uit (delen van) de dijkringen 14, 15, 16, 17, 20, 21 en 22. Dijkkring 14 bevat grote delen van de Randstad. De overige dijkringen worden gevormd door bekende Zuid-Hollandse eilanden en waarden, zoals de Krimpenerwaard, Alblasserwaard, Beverwaard, Voorne-Putten, de Hoeksche Waard en het Eiland van Dordrecht.

Beleidsalternatieven

Het nulalternatief omvat het wegwerken van achterstallig onderhoud aan de waterkeringen in het projectgebied. Dit is in 2015 afgerond. De faalkansen behorend bij faalmechanismen anders dan overschrijding van de dijktop worden niet gereduceerd. De historie leert dat er na het optreden van rampen en bijna-rampen grote verschuivingen plaatsvinden in het beleid. Wij nemen hier aan dat dergelijke verschuivingen niet plaatsvinden. De economie in het projectgebied groeit in het nulalternatief volgens het trendscenario van de Ruimtescanner, dat gebaseerd is op de WLO-scenario's.

Ten opzichte van het nulalternatief worden de volgende projectalternatieven op hun kosten en baten beoordeeld:

1. Gevolgreductie

Centraal in dit alternatief staat dat de potentiële schade van overstromingen in het projectgebied wordt verkleind. Dit kan door het invoeren van bouwrestricties in laaggelegen gebieden (waaronder het gehele projectgebied), bouwen op terpen, woningaanpassingen, evacuatieroutes en verhoogde snelwegen. Aangenomen wordt dat het ruimtegebruik in het projectgebied tot 2040 zich gedraagt volgens een gereduceerd trendsценario in de Ruimtescanner. Door ruimtelijke ontwikkelingen op slot te zetten in het achterland, neemt de groei van woningen en bedrijvigheid af. Ontwikkelpunnen voor wonen en werken zijn beperkt op een aantal plaatsen in het projectgebied. Daarnaast leiden klimaatbestendige aanpassingen aan de bestaande bebouwing tot een afname van de schadeomvang.

2. Superdijken

Er wordt in dit alternatief geïnvesteerd in het verbreden (niet verhogen) van alle huidige winterdijken in het projectgebied tot een breedte van enkele tientallen meters. Door de verbreding van de dijken wordt de kans op faalmechanismen van de dijk nihil. Een overstroming vindt alleen plaats als de waterstand hoger is dan de dijkhoogte. Hierdoor worden de overstromingskansen van de superdijk gelijk aan de overschrijdingskansen. Het ruimtegebruik wordt aangenomen zich te gedragen volgens het trendsценario uit de Ruimtescanner. Voor de aanleg van superdijken wordt aangenomen dat het geen invloed heeft op het economisch functioneren van de regio.

3. Intensivering sluitregime Maeslantkering

In dit alternatief wordt een nieuw sluitingsregime van de Maeslantkering geaccepteerd. Dit betekent omzetting voor de Rotterdamse en andere havens in het projectgebied. Aangenomen wordt dat het noodzakelijk is om de afvoer via de Nieuwe Waterweg te verminderen. Dit zal worden gerealiseerd door waterberging binnen de dijkringen in het projectgebied mogelijk te maken. Ook wordt in het Pannerdensch Kanaal de mogelijkheid gecreëerd om meer water via de IJssel te laten afvloeien. Het toekomstscenario voor wonen en werken in het projectgebied blijft ongewijzigd ten opzichte van het nulalternatief.

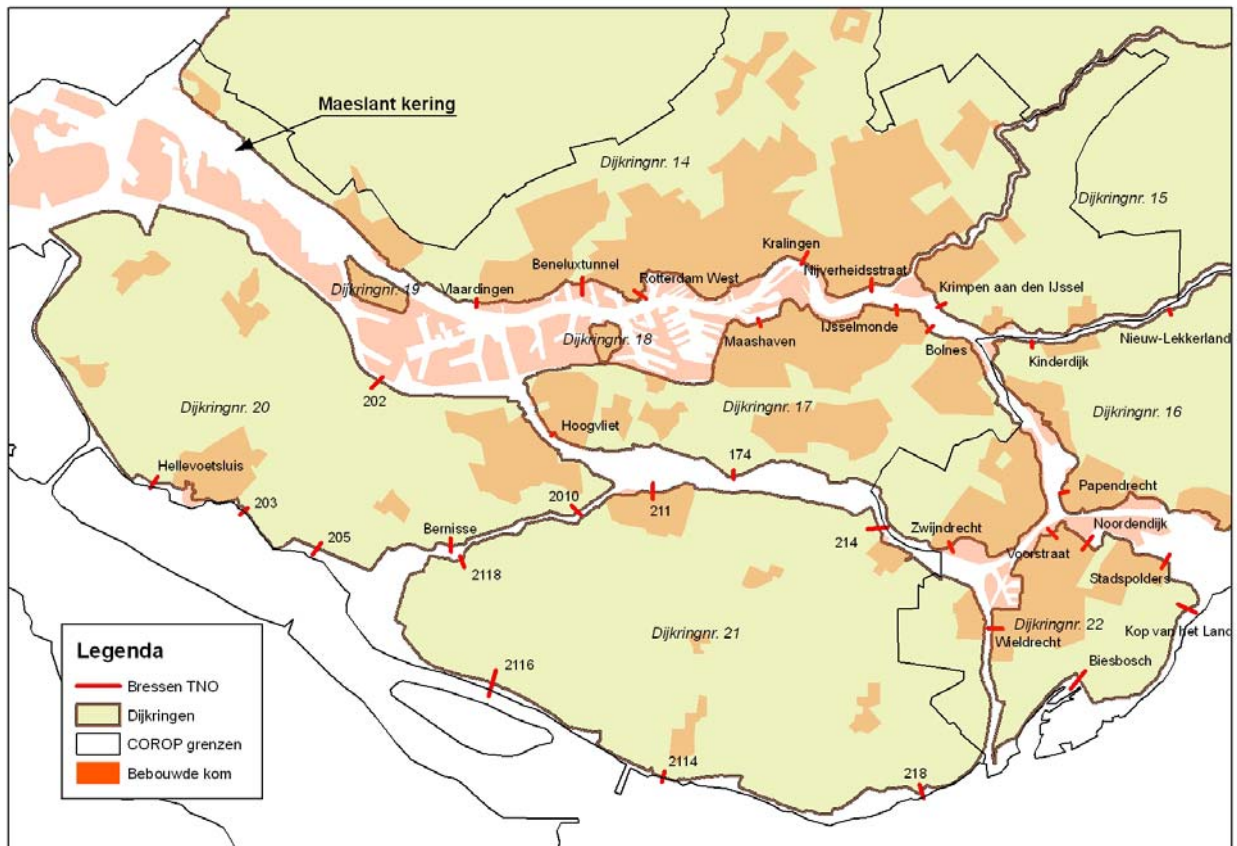
Interessant aan de gekozen alternatieven is dat ze op verschillende manieren bijdragen aan de beperking van het overstromingsrisico in de regio Rotterdam-Dordrecht. Gevolgreductie beperkt vooral de potentiële schade van een overstroming. Superdijken reduceren juist de kans op een overstroming en daarmee op een negatief welvaartseffect. Intensivering van het sluitregime van de Maeslantkering leidt tot welvaartsverlies in geval er geen overstroming optreedt, in ruil voor een daling van de kans op een overstroming.

Overstromingsscenario's

In de casusstudie maken we gebruik van de door Rijkswaterstaat geleverde scenario's uit de VNK-studie. Dit zijn de scenario's die door de Waterdienst worden gehanteerd. De locaties zijn gebaseerd op de zwakke schakels in de dijkringen, en worden als maatgevend beschouwd voor de betreffende dijkkring.

Per dijkkring binnen het beschermingsgebied van de Maeslantkering zijn circa 10 à 20 overstromingsscenario's beschikbaar. Uit dit aanbod hebben we tot maximaal zes scenario's per ring geselecteerd. De locatie van de dijkringen en de bressen staan weergegeven in figuur 3. In bijlage 0 is een overzicht gegeven van de bressen per dijkkring en de bijbehorende uitkomsten uit HIS-SSM.

Figuur 3: Projectgebied, dijkringen en gekozen bressen



Bron: TNO

4.1 Overstromingskansen

In hoofdstuk 3 is toegelicht hoe de overstromingskansen per dijkkring worden berekend. Voor het nulalternatief is de aanname gemaakt dat in 2015 eventueel achterstallig onderhoud ten opzichte van de huidige wetgeving is ingelopen en de dijken dus voldoen aan de Wet op de waterkering. Dit houdt in dat de faalkans van een dijkvak in de periode van een jaar niet groter dan 1 op 10.000 mag zijn.

Vervolgens wordt gekeken wat in 40 jaar het effect is van de klimaatverandering als verder niet in het systeem wordt ingegrepen. Op basis van het W-scenario van het KNMI (KNMI, 2006) zijn daarbij de volgende aannamen gemaakt voor 2050:

- Zeespiegelstijging 0,40 m
- Windtoename van orde 1 %
- Rijnafvoer (herhalingstijd 1250 jaar) van 16.500 naar 17.600 m³/s

Bij de berekening van de overstromingskansen per dijkvak zijn gezien de beperkte tijd en uitwerking van de scenario's grove aannamen gemaakt. De resultaten dienen daarom met een grote slag om de arm gelezen te worden en zijn indicatief.

Op basis van de resultaten per dijkvak is een gemiddelde berekend per dijkkring. De aanpak om de overstromingskansen per dijkkring te berekenen levert de volgende verdeling op, uitgedrukt in het aantal jaren waarin een overstroming eenmaal plaatsvindt:

Tabel 5: Overstromingskansen in 2015 en 2050 per projectalternatief, uitgedrukt als herhalingstijd(overstromingskans per jaar per dijkkring is 1/herhalingstijd)

Dijk-ring	Norm	Naam	2015	2050 Nul- alternatief	2050 Gevolg- reductie	2050 Super- dijk	2050 Intensivering sluitregime Maeslantkering
14	10000	Centraal Holland	3981	1995	1995	5012	1995
15	2000	Lopiker/ Krimpenerwaard	1995	1000	1000	1995	1000
16	2000	Alblasserwaard	1259	794	794	1585	794
17	4000	IJselmonde	6310	3162	3162	3981	3162
20	4000	Voorne Putten	3162	1585	1585	2512	1585
21	2000	Groote Waard	1995	1259	1259	1585	1259
22	2000	Eiland van Dordrecht	1995	1000	1000	1585	1000

Bron: TNO op basis van PC-RING

Het blijkt dat de aangenomen zeespiegelrijzing indien geen actie wordt ondernomen leidt tot een ongeveer twee keer zo hoge faalkans, ofwel herhalingstijden die twee keer zo kort zijn. De veranderende rivierafvoer heeft in dit deel van het land slechts een marginale invloed. Het heeft dus ook weinig zin te investeren in een grotere afvoer naar de IJssel. Wil men de toename in de faalkansen weer reduceren dan moeten de dijken in de regio worden opgehoogd met 0,3 á 0,5 meter.

Gevolgreductie

De investeringen in dit projectalternatief hebben geen invloed op de kans op een overstroming en zijn derhalve gelijk aan het nulalternatief.

Superdijk

Een superdijk is een dijk die niet bezwijkt. Overstromingen kunnen alleen voorkomen als gevolg van overschrijding van de hoogte van de dijk. De verbreding van de dijken leidt ertoe dat de kans op andere faalmechanismen gereduceerd worden tot nul. Voorbeelden van andere faalmechanismen zijn bijvoorbeeld overslag, afschuiven, falen bekleding, opbarsten, erosie en piping.

In tabel 5 is een overzicht gegeven van de resultaten in het projectalternatief superdijken. Een vergelijking van het projectalternatief superdijken met het nulalternatief geeft een illustratie van het verschil in overschrijdingskans en overstromingskans. De invloed van faalmechanismen verschilt per dijkkring maar is aanzienlijk. In dijkkring 14, 15, en 16 is het aandeel van andere faalmechanismen dan overschrijding de helft of meer.

Intensivering sluitregime Maeslantkering

Het intensiveren van de Maeslantkering zou moeten leiden tot een afname van de overstromingskans in het achterland. Bij het oorspronkelijk ontwerpvoorstel was een van de richtlijnen dat het sluiten van de Maeslantkering leidt tot een afname van de waterstanden bij Rotterdam met 1,6 meter en bij Dordrecht met 0,6 meter.

Met het computerprogramma PC-RING is gezien de beperkte hoeveelheid tijd voor dit project niet mogelijk om de impact op de overstromingskansen van een intensiever sluitingsregime van de Maeslantkering door te rekenen. Oorzaak is de dominante invloed van foutmechanismen bij het sluiten van de Maeslantkering anno nu. Er doen zich drie situaties voor:

1. de kering moet dicht zijn en is inderdaad gesloten;
2. de kering moet dicht maar is door een fout toch open;
3. de kering hoeft niet dicht en is niet dicht, maar er treedt falen op.

Door het sluitregime te verscherpen verlaagt men de kans bij 1 en 3, maar niet bij 2. Helaas is 2 op dit moment nog steeds de dominante bijdrage, mede doordat de kans op ten onrechte niet sluiten in de orde van 1 procent per vraag ligt. De relatief grote onbetrouwbaarheid is onder andere het gevolg van verkeerde software, slijtage en het ontbreken van reserveonderdelen.

Na verbetering van de onderhoudsstaat van de Maeslantkering heeft een aanscherping van het sluitregime meer effect. In de case voor 2040 is hiermee geen rekening gehouden omdat het effect van de verbetering een studie op zich vormt.

4.2 Schadeberekeningen in HIS-SSM

Met HIS-SSM is voor iedere bres uit figuur 3 de totale schade berekend. De uitkomsten zijn per dijkkring gegroepeerd door een gemiddelde te nemen van de schade per bres van de bijbehorende dijkkring (zie bijlage 0 voor de schade per bres). In tabel 6 is een overzicht gegeven van de schadebedragen van een overstroming in 2008 en 2040. Bij de berekening van de schade van een overstroming in 2040 is uitgegaan van het trendscenario uit de Ruimtescanner.

Per dijkkring is voor elk alternatief het gemiddelde schadebedrag per overstromingsscenario berekend. Deze bedragen in miljoenen euro's zijn in onderstaande tabel weergegeven. Opvallend is dat de schade anno 2040 nauwelijks hoger en soms zelfs lager uitvalt dan in 2008. Dit volgt uit aannamen in de Ruimtescanner met betrekking tot bevolkingsomvang, aanwezigheid werklocaties

en productiviteitsontwikkeling. Er wordt geen rekening gehouden met reële waardeontwikkeling van vastgoedobjecten en productiviteitsontwikkelingen van economische activiteiten.

Tabel 6: Gemiddelde schade per dijkkring van een overstroming in 2008 en 2040, in miljoenen euro's, op basis van HIS-SSM

Jaartal	2008	2040 Nulalternatief
Dijkkring 14	6427	6577
Dijkkring 15	3207	2654
Dijkkring 16	3607	4549
Dijkkring 17	376	416
Dijkkring 20	149	216
Dijkkring 21	53	78
Dijkkring 22	1922	2395

Bron: HIS-SSM

Als we in tabel 7 kijken naar de opbouw van de schadeposten in HIS-SSM anno 2008, zien we dat 97 procent van alle schade bestaat uit fysieke schade in 2008. Fysieke schade aan woningen neemt ongeveer 2/3 van de totale schade voor haar rekening, afhankelijk van de mate van stedelijkheid in het achterland van de dijkkring. In het stedelijke achterland van dijkkring 14 is de fysieke schade aan woningen bijvoorbeeld 77 procent van de totale schade. Bedrijfsuitval en indirecte effecten hebben een marginale rol. Wel zien we dat het aandeel indirecte effecten ten opzichte van bedrijfsuitval substantieel is.

Tabel 7: Gemiddelde schade per dijkkring van een overstroming in 2008, onderverdeeld naar schade posten, in miljoenen euro's

Schadepost	Dijkkring 14	Dijkkring 15	Dijkkring 16	Dijkkring 17	Dijkkring 20	Dijkkring 21	Dijkkring 22
<i>Fysieke schade</i>	6305	3074	3489	372	147	49	1870
w.v. inwoners	4988	1833	2281	315	106	22	1421
w.v. infrastructuur en publieke ruimte	705	590	666	41	32	12	237
w.v. bedrijven	612	652	543	17	9	15	212
<i>Economische schade</i>	122	133	117	4	2	4	52
w.v. bedrijfsuitval	99	56	62	3	1	2	43
w.v. indirecte schade	24	76	55	1	1	2	9
<i>Totale schade</i>	6427	3207	3607	376	149	53	1922

Bron: HIS-SSM

Gevolgreductie

Voor het projectalternatief gevolgreductie worden met gerichte maatregelen de mogelijke gevolgen van een overstroming gereduceerd. Met ruimtelijk beleid worden bouwplannen in risicogebieden ingeperkt. De bestaande bouw wordt met innovaties klimaatbestendiger gemaakt door aanpassingen aan woningen en bedrijfsgebouwen. Deze innovaties resulteren in een afname van de schadefuncties van eengezinswoningen, laagbouw en boerderijen. Dit is in HIS-SSM vertaald in lagere schadefuncties, door de schadefunctie van industrie aan te nemen voor eengezinswoningen, laagbouw en boerderijen (zie ook bijlage 1). Dit leidt tot een reductie van de schade met 25 tot 45 procent in 2040.

Tabel 8: Gemiddelde schade per dijkkring van een overstroming in 2040, met en zonder gevolgreductie, in miljoenen euro's

Jaartal	2040	2040	2040
	Nulalternatief	Gevolgreductie	Afname schade in %
Dijkkring 14	6577	4933	-25%
Dijkkring 15	2654	1592	-40%
Dijkkring 16	4549	3275	-28%
Dijkkring 17	416	250	-40%
Dijkkring 20	216	132	-39%
Dijkkring 21	78	44	-43%
Dijkkring 22	2395	1317	-45%

Bron: HIS-SSM/bewerking TNO

Superdijken

Ook in projectalternatief Superdijken leiden investeringen tot een afname van de schade van een overstroming. Niet alleen neemt de overstromingskans af, ook de schade neemt af. Een superdijk bezwijkt niet, waardoor de overstroming tot een overschrijding beperkt blijft. Dit leidt niet alleen tot minder slachtoffers door een toename van de evacuatie tijd, ook stroomt er minder water het achterland in. Dit reduceert de schadeomvang aanzienlijk.

Tabel 9: Gemiddelde schade per dijkkring van een overstroming in 2040, met en zonder superdijk, in miljoenen euro's

Jaartal	2008	2040 Nulalternatief	2040 Superdijk	2040 Afname schade in %
Dijkkring 14	6427	6577	1865	-72%
Dijkkring 15	3207	2654	818	-69%
Dijkkring 16	3607	4549	1129	-75%
Dijkkring 17	376	416	123	-70%
Dijkkring 20	149	216	65	-70%
Dijkkring 21	53	78	22	-72%
Dijkkring 22	1922	2395	754	-69%

Bron: HIS-SSM/bewerking TNO

Voor het berekenen van overstromingsschade in HIS-SSM op basis van de gegeven overstromingsscenario's is een aanname gemaakt. De input van de scenario's is gegeven in finale overstromingsdiepte. Deze "einddiepte" is verminderd met 1,5 meter. Dit getal is aangenomen op basis van de gemiddelde inundatie, maar is niet verder onderbouwd. Eventuele schommelingen in de waterspiegel door het verloop van de overstroming, wind en andere weersomstandigheden zijn verwaarloosd.

Intensivering sluitregime Maeslantkering

Dit projectalternatief heeft geen invloed op de directe schade van een overstroming. De schade is gelijk aan de schade in het nulalternatief.

4.3 Schadeberekeningen in RAEM

De RAEM invoer is afkomstig uit HIS-SSM. RAEM berekent vervolgens de indirecte schade van een overstroming en de schade door productie-uitval op korte, middellange en lange termijn.

De volgende schadeposten uit HIS-SSM zijn in RAEM als invoer gebruikt:

Kapitaalverlies

Hiervoor wordt de directe schade van bedrijven per sector in HIS-SSM gebruikt. Het wegvallen van een deel van de productiefactor kapitaal leidt tot minder en minder efficiëntere productie in RAEM. In RAEM is het mogelijk dat bedrijven op zoek gaan naar substituten voor het wegvallen van kapitaal door meer arbeid dan wel land in te zetten in het productieproces.

Grondgebruik

Aan de hand van de overstromingskarakteristiek is bekend welk deel van het grondgebruik per functie wegvalt door de overstroming. Aangenomen is dat al het land wegvalt dat meer dan 1 meter onder water heeft gestaan. Land is nieuw toegevoegd als productiefactor in de productiefunctie van sectoren en leidt zo tot minder en minder efficiënt produceren in een regio.

Woningen

Uit HIS-SSM is bekend hoeveel woningen schade ondervinden van de overstromingen. Aangenomen is dat deze woningen onherstelbaar beschadigd zijn en onttrokken worden uit het woningaanbod in RAEM.

Arbeid

Uit HIS-SSM is bekend hoeveel slachtoffers er vallen bij een overstroming. Aangenomen is dat alle slachtoffers deel zijn van de beroepsbevolking en dat hierdoor het beschikbare arbeidsaanbod in een regio afneemt.

In tabel 10 zijn de economische effecten volgens RAEM weergegeven van een overstroming in 2008 in het nulalternatief. In RAEM is gekeken hoe een overstroming leidt tot een vermindering van de binnenlandse productie.

Tabel 10: Gemiddelde schade per dijkkring van een overstroming in 2008, in miljoenen euro's

Dijkkring	Economische schade tijdens overstroming^a	Totale economische schade 2008-2100^b
Dijkkring 14	-73	-2979
Dijkkring 15	-163	-1833
Dijkkring 16	-118	-926
Dijkkring 17	-6	-72
Dijkkring 20	-2	-25
Dijkkring 21	-7	-54
Dijkkring 22	-36	-534

a. duur overstroming twee maanden

b. netto contante waarde, op basis van RAEM resultaten per jaar en discontovoet van 5,5% per jaar.

Bron: TNO

In HIS-SSM en RAEM is aangenomen dat de periode van overstroming twee maanden is. De korte termijn van ontvricting is twee maanden. Daarna vinden er aanpassingen plaats op de arbeidsmarkt en woningmarkt, en gaan mensen weer aan het werk (mits ze een baan vinden). In bijlage 2 zijn de resultaten voor de korte, middellange en lange termijn weergegeven per jaar. Op basis van een jaarlijkse discontovoet van 5,5 procent¹ is het mogelijk om de netto contante waarde van alle toekomstige schade te berekenen.

¹ Begin 2007 is door het kabinet de discontovoet voor kosten-batenanalyses bijgesteld van 4 naar 2,5 procent, met een risico-opslag van 3 procent voor macro-economische risico's. In de praktijk ligt de gehanteerde discontovoet in de meeste kosten-batenanalyses op 5,5 procent.

Uit de resultaten blijkt dat de totale schade een veelvoud is van de schade tijdens een overstroming. Een overstroming leidt tot verlies van productiefactoren en herallocatie van het productieproces. Dit heeft een blijvend negatieve invloed op de Nederlandse welvaart, en zal in de overstromingsregio versterkt doorwerken.

We moeten bij de gepresenteerde resultaten een aantal kanttekeningen plaatsen. Er zijn bij de berekeningen aannamen gemaakt die leiden tot een overschatting van de totale schade. Ten eerste wordt de schade overschat door de aanname dat alle schade permanent en onomkeerbaar is. In RAEM wordt op vier manieren het effect van een overstroming ingevoerd: via verlies van kapitaal, arbeid, land en woningen. Het verlies van mensenlevens is onomkeerbaar en ook schade aan kapitaal en woningen is permanent. Land kan op termijn echter weer ingezet worden als productiefactor of een andere bestemming krijgen. Kapitaal heeft geen eeuwige levensduur maar wordt afgeschreven over de tijd. Het natuurlijk afschrijvingsproces beperkt de blijvende schade aan de kapitaalgoederenvoorraad.

Ten tweede is bij de berekeningen aangenomen dat alle woningen die schade hebben ondervonden in HIS-SSM onttrokken worden aan de woningvoorraad. In de praktijk zal slechts in een deel van de aangetaste woningen over moeten worden gegaan tot sloop.

Verder onderzoek is nodig om deze aanpassingen te verwerken, maar grofweg de helft van de netto contante waarde van de economische schade in RAEM zou komen te vervallen.

Niettemin laten de berekeningen zien dat de lange termijn effecten van een overstroming fors kunnen zijn en tot een substantiële toename leiden van het totale schade bedrag. Het meenemen van lange termijn economische schade leidt tot een toename van de totale schade uit HIS-SSM met 15 tot 55 procent, afhankelijk van de locatie en omvang van de overstroming. Hoe groter de omvang van de overstroming en hoe belangrijker de economische functie van het achterland, hoe groter de relatieve toename van de totale schade.

Dit wordt geïllustreerd aan de hand van de resultaten voor dijkkring 14. Voor resultaten van de andere dijkringen wordt verwezen naar bijlage 3. De totale schade bij het toevoegen van middellange en lange termijn indirecte schade bedraagt 9,4 miljard euro, een toename van 44 procent ten opzichte van de 6,4 miljard euro uit HIS-SSM. De economische schade uit HIS-SSM is vergelijkbaar met de berekening van de korte termijn economische schade in RAEM. De resultaten liggen in dezelfde orde van grootte maar verschillen door een andere berekeningswijze. Om dubbelstellingen te voorkomen wordt de economische schade uit HIS-SSM niet meegenomen in het totaal van HIS-SSM en RAEM.

Tabel 11: Schade in dijkkring 14 van een gemiddelde overstroming in 2008, in miljoenen euro's^a

Schadepost	HIS-SSM	RAEM	Totaal (HIS-SSM+RAEM)
Fysieke schade	6305	x	6305
w.v. inwoners	4988	x	4988
w.v. infrastructuur en publieke ruimte	705	x	705
w.v. bedrijven	612	x	612
Economische schade tijdens overstroming	122	73	73
Economische schade middellange + lange termijn	x	2906	2906
Totale schade	6427	2979	9284

Bron: TNO, op basis van HIS-SSM en RAEM

a. x = niet berekend

4.3 Vergelijking projectalternatieven

Op basis van de berekeningen uit de paragrafen 4.1 tot en met 4.3 kunnen de effecten van de verschillende projectalternatieven naast elkaar worden gezet voor het jaar 2050 en uitgedrukt worden in overstromingsrisico per jaar. Het overstromingsrisico is het product van de overstromingsschade en de overstromingskans. In Bijlage 4 zijn de resultaten van de overstromingskans en overstromingsschade voor de verschillende alternatieven weergegeven.

Tabel 12: Overzicht overstromingsrisico in 2050 in nulalternatief en drie projectalternatieven, uitgedrukt in miljoenen euro's per jaar

Dijkkring	2015	Nulalternatief	Gevolgreductie	Superdijken	Intensivering sluitregime Maeslantkering
Dijkkring 14	2,3	4,8	3,6	0,5	4,8
Dijkkring 15	2,5	4,1	2,4	0,6	4,1
Dijkkring 16	3,5	7,0	5,0	0,9	7,0
Dijkkring 17	0,1	0,2	0,1	0,0	0,2
Dijkkring 20	0,1	0,2	0,1	0,0	0,2
Dijkkring 21	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1
Dijkkring 22	1,2	3,0	1,6	0,6	3,0

Bron: TNO

In tabel 12 zijn de resultaten weergegeven in miljoenen euro's per jaar per dijkkring. Zonder extra investeringen is het overstromingsrisico bij klimaatontwikkelingen volgens het W-scenario van het KNMI meer dan verdubbeld in 2050. Van de drie uitgewerkte investeringsstrategieën hebben alleen de superdijken een verlaging van

het overstromingsrisico tot gevolg. Gevolgreductie heeft geen invloed op de toename van de overstromingskansen en zorgt daarom per saldo voor een stijging van het overstromingsrisico. Uit paragraaf 4.1 bleek al dat intensivering van het sluitregime van de Maeslantkering geen invloed heeft op de overstromingskansen.

Hierbij zijn twee additionele aannamen gemaakt. Ten eerste berekent HIS-SSM de schade van overstroming in 2040. Deze schadebedragen zijn ook van kracht in 2050. Ten tweede wordt de schade van HIS-SSM verhoogd met de middellange en lange termijnschade uit RAEM. RAEM heeft alleen de schade berekend van een overstroming in 2008. We nemen aan dat het opslagpercentage van RAEM op de schade van HIS-SSM gelijk blijft over de tijd en per projectalternatief.

De toename van de overstromingskansen, die gebaseerd is op het W-scenario van het KNMI, hebben een groter effect op de toename van het overstromingsrisico dan de toename van de schade. Dit resultaat staat haaks op bevindingen van de WRR (WRR, 2006). De WRR beargumenteert dat economische groei sneller verloopt dan klimaatverandering en daarom een grotere invloed heeft op overstromingsrisico van dijkringen.

In HIS-SSM wordt bij de berekening van de fysieke schade wel rekening gehouden met een toename van het aantal vastgoedobjecten maar niet met de reële waardestijging van objecten. De huidige kredietcrisis laat zien dat het schatten van reële waardestijgingen van vastgoed met grote onzekerheden gepaard gaat. Ook de ontwikkelingen van de economische schade over de periode 2008-2040 zijn in dit paper niet meegenomen doordat de resultaten van RAEM uit 2008 met een vast opslagpercentage zijn gekoppeld aan HIS-SSM. Verder onderzoek is nodig om de invloed van deze ontwikkelingen op overstromingen mee te nemen.

Er is geen gevoeligheidsanalyse gemaakt. Ook zijn de kosten en praktische haalbaarheid van de maatregelen niet meegenomen. De grootste kosten zijn de aanleg- en onderhoudskosten. De grootste aanlegkosten worden verwacht bij de aanleg van de superdijken, in het bijzonder in stedelijk gebied. Ook de maatregelen voor gevolgreductie kunnen leiden tot een aanzienlijke kostenpost. Naast fysieke ingrepen leiden bouwrestricties tot een lagere verwachte economische groei. Intensivering van het sluitregime van de Maeslantkering is relatief goedkoop omdat hiervoor geen grootschalige investeringen nodig zijn. Wel zijn er kosten verbonden aan het gebruik van de Maeslantkering en dient er rekening worden gehouden met economische schade. Intensivering van het sluitregime van de Maeslantkering leidt tot omzetverlies in de Rotterdamse haven en een verslechterde internationale concurrentiepositie van de Nederlandse economie.

5 Conclusies

Waterkeren gaat in de eerste plaats over veiligheid. Maar in de besluitvorming over waterkeringen spelen veel meer aspecten een rol. Economische kennis kan hierbij een belangrijke bijdrage leveren doordat het de beschikking geeft over methoden om vanuit welvaartspectief een zo goed mogelijk afweging te maken tussen verschillende oplossingsrichtingen voor het verbeteren van de waterveiligheid van Nederland. Een andere belangrijke uitdaging voor economen is het berekenen van de effecten van een overstroming op de welvaart van Nederland en de overstromde regio. Tot slot kunnen economen kennis inbrengen voor de financiering van maatregelen voor dijkverbetering en het financieren van schade als gevolg van een overstroming.

Waterveiligheidsvraagstukken vragen om extra onderzoek naar de rol van onzekerheid in kosten-batenanalyses. Investeren in waterveiligheid verzekert ons tegen een onzeker, negatief welvaartsverlies in de toekomst. De onzekerheid ontstaat door onzekere omgevingsontwikkelingen van klimaat en economie, het meten van de kwaliteit van de bestaande en toekomstige kustverdediging, en de tijd, plaats en omstandigheden van een mogelijke overstroming. Deze grootheden hebben grote invloed op het negatieve welvaartsverlies ten gevolge van een overstroming.

Het Hoogwater Informatie Systeem (HIS) van Rijkswaterstaat wordt op dit moment gebruikt voor het berekenen van de schade van een overstroming. De schadeberekeningen bestaan voor 95 tot 99 procent uit fysieke schade aan woningen, gebouwen en infrastructuur. De economische schade als gevolg van bedrijfsuitval en indirecte schade neemt een relatief bescheiden plaats in. Dit wordt veroorzaakt door het niet meenemen van blijvende economische schade van een overstroming. Berekeningen in dit paper met het model RAEM laten zien dat de blijvende economische schade kan oplopen met 15 tot 55 procent van de totale schade uit HIS-SSM.

In het paper is een case uitgewerkt voor verbeteringen van de waterveiligheid voor de regio Rotterdam-Dordrecht. Zonder extra investeringen verdubbelt het overstromingsrisico in 2050 ten opzichte van de huidige situatie, inclusief de verwerking van het achterstallig onderhoud aan dijken. Of de invloed van toekomstige economische groei op potentiële overstromingsschade groter is dan die van klimaatverandering is dan ook kwestieus. Alleen in het alternatief superdijken zien we een daling van het overstromingsrisico. Een superdijk, dat wil zeggen een dijk die niet bezwijkt, leidt tot een lagere overstromingskans en een lagere omvang van de schade. De overstromingskans daalt doordat andere faalmechanismen dan overschrijding niet optreden. De overstromingsschade daalt doordat minder water langzamer het achterland instroomt. Bij de resultaten moet opgemerkt worden dat het gaat om een verkennende studie waarin een aantal grove aannamen zijn gemaakt en geen gevoeligheidsanalyse en kosteninschatting zijn gemaakt.

6 Onderzoeksagenda

Vanuit economisch oogpunt staan er drie belangrijke uitdagingen voor onderzoek naar waterveiligheid op de agenda:

1. De rol van onzekerheid in kosten-batenanalyses van investeringen in waterveiligheid

De frequentie en omvang van extreme gebeurtenissen als een stormvloed zijn zeer moeilijk te voorspellen. Klimaatscenario's bieden enige houvast maar zijn ook omgeven met toekomstige onzekerheden. Verder bestaat er op dit moment geen uniforme toepassing van overstromingskansen bij kosten-batenanalyses. Het berekenen van overstromingskansberekeningen wordt uitgevoerd met het computerprogramma PC-RING. Deze berekeningen vormen complexe materie, bijvoorbeeld vanwege het beperkt aantal reële dijkdoorbraken, het samenspel van bezwijkmechanismen en de interactie van locaties van doorbraken. De uitkomsten van de kansberekening worden direct geïnterpreteerd binnen de kosten-batenanalyse. Alleen zo kan het effect van een investering in waterveiligheid op het overstromingsrisico worden geïnterpreteerd. Een verdere grote onzekerheid is de locatie van een bres en daarmee het verloop van de overstroming. Dit heeft een grote impact op de uiteindelijke schade van een overstroming en daarmee op de voorkomen negatieve baten van een investering in waterveiligheid.

De onderzoeksagenda moet er op gericht zijn om toe te werken naar een uniforme leidraad voor het berekenen van kosten en baten van investeringen in waterveiligheid, te vergelijken met de OEI-leidraad voor investeringen in punt- en lijninfrastructuur.

2. De lange termijn effecten van een overstroming

Het ministerie van Verkeer en Waterstaat hanteert het Hoogwater Informatie Systeem (HIS) voor het vaststellen van de schade van een overstroming. Hierbij wordt alleen gekeken naar de schade op korte termijn, veelal van fysieke aard. Schade op lange termijn blijft onduidelijk, zowel voor het overstroomd gebied als Nederland als geheel. Zo is het niet terugkeren van 150 duizend inwoners voor New Orleans na Kathrina voor de regio op lange termijn misschien wel de grootste schadepost.

Hoe kijken mensen aan tegen overstromingsrisico nadat een overstroming heeft plaatsgevonden? Leidt dit tot verhuizing naar veiliger regio's? Wat doen bedrijven met hun investeringen in kwetsbare gebieden? Hoeveel extra schade ontstaat er als de overheid niet meteen start met herstellen van de belangrijkste infrastructuur in het gebied? Met ruimtelijke algemene evenwichtmodellen is het mogelijk om de welvaartseffecten te berekenen van verhuisgedrag van inwoners, ruimtelijk investeringsgedrag van bedrijven en de rol van het rijk bij het herstellen van de schade. De modellering dient gebaseerd te zijn op waargenomen gedrag tijdens historische overstromingen.

3. Regionale kwetsbaarheid voor overstromingsrisico

Er bestaat vanuit de beleidswereld belangstelling voor classificatie van regio's op hun vatbaarheid voor gevolgen van klimaatverandering. Het vaststellen van determinanten van deze kwetsbaarheid omvat zowel fysieke als economische aspecten. Bij fysieke aspecten kan worden gedacht aan ligging, hoogte en verwachte veranderingen in het klimaat door de opwarming van de aarde. Bij economische aspecten gaat het om institutionele invloeden op gedrag voor, tijdens en na overstromingen. Voorbeelden van zulke invloeden zijn taal, arbeidsmobiliteit, economische groei, werkgelegenheid, de verhouding markt-overheid en de mate waarin overheden centraal dan wel decentraal zijn georganiseerd. Het zou interessant zijn om behalve een nationaal ook een Europees schaalniveau te hanteren omdat op deze wijze een goede vergelijkbaarheid tussen Europese delta's mogelijk wordt (Rijn/Donau) alsook met de VS (New Orleans). Het inventariseren van waargenomen effecten bij historische overstromingen kan daarbij een waardevol startpunt zijn.

De MKBA's van overstromingsrisico krijgen in de toekomst te maken met een aantal interessante uitdagingen op het vlak van overstromingsrisico:

1. Het bepalen van de overstromingskansen is geen uitgemaakte zaak. Doordat overstromingen zelden tot nooit voorkomen is het bepalen van de overstromingskans een gecompliceerde aangelegenheid.
2. De schade van een overstroming is uiterst onzeker omdat deze sterk afhankelijk is van de plaats en omstandigheid waaronder overstroming plaatsvindt. Hierdoor zit er ook in de omvang van de overstroming een groot onzeker element.
3. De ontwikkelingen over tijd zijn onzeker en bepalen sterk de uitkomst van een MKBA. Het gaat hier om ontwikkelingen in de kwetsbaarheid van dijken, ontwikkelingen in klimaatverandering en ontwikkelingen van de sociaal-economische structuren in het laaggelegen gebied achter de dijken.

7 Referenties

Deltacommissie (1960), *Rapport Deltacommissie*, Staatsdrukkerij en -uitgeverij, Den Haag

Deltacommissie (2008), *Samen werken met water – bevindingen Deltacommissie 2008*, ISBN/EAN 978-90-9023484-7, Den Haag

De Nederlandsche Bank (2007), *Gevolgen van klimaatverandering voor de Nederlandse overheidsfinanciën, Kwartaalbericht*, september 2007, Amsterdam

Eijgenraam, C.J.J. (2005), *Veiligheid tegen overstromen – kosten-batenanalyse voor Ruimte voor de Rivier, deel 1*, CPB document nr 82, Centraal Planbureau, Den Haag

Eijgenraam, C.J.J., C.C. Koopmans, P.J.G. Tang en A.C.P. Verster (2000), *Evaluatie van infrastructuur – leidraad voor kosten-batenanalyse*, Centraal Planbureau/Nederlands Economisch Instituut, Den Haag/Rotterdam

Flyvbjerg, B, N. Bruzelius en W. Rothengatter (2003), *Megaprojects and risk: an anatomy of ambition*, Cambridge University Press

Fujita, M., P.R. Krugman en A.J. Venables (1999), *The Spatial Economy, Cities, Regions and International Trade*. MIT Press, Cambridge, MA.

Ivanova, I., C. Heyndrickx, K. Spiteals, L.A. Tavasszy, W.J.J. Manshanden, M. Snelder en O. Koops (2007), *RAEM: version 3.0*, TNO & Transport & Mobility Leuven, Leuven

Jonkhoff, W., O. Koops, R.A.A. van der Krogt, G.H.P. Oude Essink en E. Rietveld (2008), *Economische effecten van klimaatverandering – overstroming en verzilting in scenario's, modellen en cases*, TNO-rapport, Delft

Klijn, F., P. Baan, K. de Bruin en J.C.J. Kwadijk (2007), *Overstromingsrisico's in Nederland in een veranderend klimaat – verwachtingen, schattingen en berekeningen voor het project Nederland Later*, rapport in opdracht van MNP, WL Delft Hydraulics, Delft

KNMI (2006), *Klimaat in de 21^e eeuw – vier scenario's voor Nederland*, De Bilt

Koike, A. (2007), *Spatial CGE analysis for economic damage assessment of disasters*, working paper, 53rd North American RSAI congress

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2004), *Directe effecten infrastructuurprojecten – aanvulling op de Leidraad OEI*, Den Haag

Nooij, M. de, en F.A. Rosenberg (2007), *Maatschappelijke kosten-batenanalyse voor de planstudie versterking zwakke schakel Scheveningen*, SEO-rapport, Amsterdam

Oosterhaven, J., Knaap, T., Ruijgrok, C., and Tavassy, L.(2001), *On the development of RAEM: The Dutch spatial general equilibrium model and it's first application to a new railway link*, Paper presented on the 41th Congress of the European Regional Science Association.

Oosterhaven, J., J.P. Elhorst, C.C. Koopmans en A. Heyma (2004), *Indirecte effecten infrastructuurprojecten – aanvulling op de Leidraad OEI*, Ministerie van Verkeer en Waterstaat en Ministerie van Economische Zaken, Den Haag

Schelfhout, H., 2007, *Achterlandstudie Maeslantkering*, Geodelft, Delft

Stern, N., S. Peters, V. Bakhshi, A. Bowen, C. Cameron, S. Catovsky, D. Crane, S. Cruickshank, S. Dietz, N. Edmonson, S.-L. Garbett, L. Hamid, G. Hoffman, D. Ingram, B. Jones, N. Patmore, H. Radcliffe, R. Sathiyarajah, M. Stock, C. Taylor, T. Vernon,
H. Wanjie en D. Zenghelis (2006), *Stern Review: the economics of climate change*, HM Treasury, Londen

Venables, A.J., 1996, *Equilibrium locations of vertically linked industries*, International Economic Review 37 (2), pp. 341-359

Vrouwenvelder, A. e.a., 1999a, *Theoriehandleiding PC-Ring, Deel A: amechanismebeschrijving*, TNO Bouw rapport 98-CON-R1430, Delft

Vrouwenvelder, A. e.a., 1999b, *Case studies probabilistische berekeningen. algemene invoergegevens*, TNO Bouw rapport 98-CON-R1702, Delft

Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid, 2006, *Klimaatstrategie – tussen ambitie en realisme*, rapporten aan de regering nr. 74, AUP, Den Haag/Amsterdam

Bijlage 0 Overzicht overstromingsscenario's

In tabel B0 is een overzicht gegeven van de bressen per dijkkring. In figuur 3 zijn de locaties van de bressen ook op de kaart weergegeven. Om een indruk te geven van de omvang van de overstroming zijn per overstroming de schadeomvang en slachtoffers uit HIS-SSM weergegeven. Uiteindelijk is per dijkkring uitgegaan van een gemiddelde overstroming.

Tabel B0: Overzicht van bressen per dijkkring

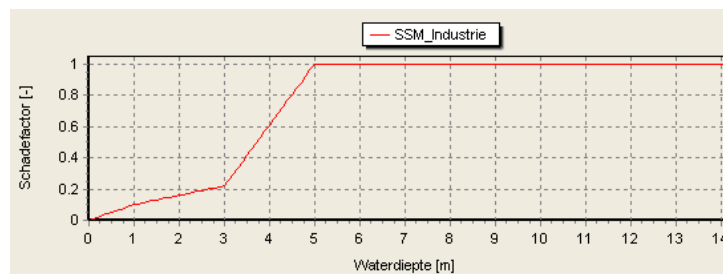
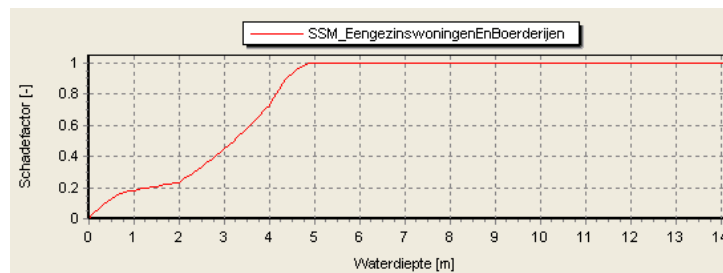
Dijkvak	Schade <i>in miljard euros</i>	Slachtoffers	Dijkvak	Schade <i>in miljard euros</i>	Slachtoffers
Dijkvak	Schade	Slachtoffers	Dijkvak	Schade	Slachtoffers
Benelux	4,2	1645	202	0,2	12
Kralingen	14,5	15817	203	0,1	3
Nijverheidsstraat	3,6	3105	205	0,0	0
Rotterdam West	1,8	134	2010	0,6	35
Vlaardingen	8,0	1695	Bernisse	0,1	3
<i>Dijkkring 14 gemiddeld</i>	<i>6,4</i>	<i>4479</i>	Hellevoetsluis	0,1	3
			<i>Dijkkring 20 gemiddeld</i>	<i>0,2</i>	<i>9</i>
Dijkvak	Schade	Slachtoffers	Dijkvak	Schade	Slachtoffers
Krimpen	3,2	335	211	0,1	11
<i>Dijkkring 15 gemiddeld</i>	<i>3,2</i>	<i>335</i>	214	0,1	11
			218	0,1	5
Kinderdijk	3,3	436	2114	0,0	0
Nieuw-Lekkerland	3,7	499	2116	0,0	2
Papendrecht	3,8	639	2118	0,0	0
<i>Dijkkring 16 gemiddeld</i>	<i>3,6</i>	<i>525</i>	<i>Dijkkring 21 gemiddeld</i>	<i>0,1</i>	<i>5</i>
Dijkvak	Schade	Slachtoffers	Dijkvak	Schade	Slachtoffers
174	0,0	0	Biesbosch	0,3	15
Bolnes	0,1	5	kop van het land	7,4	11707
Hoogvliet	0,1	6	noordendijk	0,9	71
IJsselmonde	1,1	140	voorstraat	0,3	15
Zwijndrecht	0,1	6	wieldrecht	0,8	53
<i>Dijkkring 17 gemiddeld</i>	<i>0,3</i>	<i>31</i>	<i>Dijkkring 22 gemiddeld</i>	<i>1,9</i>	<i>2372</i>

Bron: TNO op basis van HIS-SSM

Bijlage 1: HIS-SSM schadeberekening in projectalternatief Gevolgreductie

Teneinde een situatie van vloedbestendigheid te creëren zijn de berekeningen herhaald met gewijzigde schadefuncties voor eengezinswoningen, laagbouw en boerderijen. De schadefunctie van SSM_Industrie is aangenomen. Deze functie loopt minder sterk op voor stijghoogten tot 3 meter.

Tabel B1: Schadefuncties eengezinswoningen en boerderijen vergeleken met schadefunctie van industrie



Bijlage 2: Resultaten RAEM

In RAEM is de economische schade berekend op korte, middellange en lange termijn. Het onderscheid tussen de tijdsperioden zit in de mate waarin economische markten zich aanpassen op de schok van de overstroming. Op korte termijn zijn alle prijzen vast en vindt er geen aanpassing plaats op de arbeids- en woningmarkt. Deze markten zijn gedurende de overstroming ontwricht. Op middellange termijn vindt aanpassing plaats op arbeids- en woningmarkt. Mensen gaan elders op zoek naar een woning dan wel een nieuwe baan. Door de hiermee gepaard gaande pendel en migratie ontstaat er op deze markten een nieuw evenwicht. Op lange termijn vindt er aanpassing plaats op de kapitaalmarkt. Bedrijven trekken weg naar elders of gaan elders investeren.

In tabel B2 zijn de schade per jaar weergegeven op korte, middellange en lange termijn. De bedragen geven weer wat de jaarlijkse schade is van een overstroming, gegeven een bepaald aanpassingsvermogen van markten.

We zien dat een groot deel van de economische schade oplost bij aanpassing van de arbeids- en woningmarkt. De invloed van aanpassing van de kapitaalmarkt is beperkt maar ook op lange termijn blijft de economie hinder houden van een overstroming.

Tabel B2: Gemiddelde schade per jaar per dijkkring van een overstroming in 2008, in miljoenen euro's, op basis van RAEM

Dijkkring	Schade op korte termijn	Schade op middellange termijn	Schade op lange termijn ^a
Dijkkring 14	-440	-176	x
Dijkkring 15	-978	-107	-85
Dijkkring 16	-2831	-195	x
Dijkkring 17	-36	-4	-3
Dijkkring 20	-11	-1	x
Dijkkring 21	-43	-3	x
Dijkkring 22	-859	-113	-104

Bron: TNO, op basis van RAEM

a. x = niet berekend met RAEM

Voor de case nemen we aan dat de korte termijn twee maanden is, de middellange termijn de periode van na twee maanden tot en met drie jaar. Na drie jaar vindt ook aanpassing plaats op de kapitaalmarkt.

De lange termijn effecten zijn niet voor alle dijkringen berekend. Voor dijkkring 14, 16, 20 en 21 is aangenomen dat de lange termijn effecten 85 procent zijn van de middellange termijneffecten. Dit percentage is gebaseerd op basis van de gemiddelde verhouding van lange en middellange termijneffecten in dijkkring 15, 17 en 22.

Bijlage 3: Het optellen van schadebedragen uit HIS-SSM en RAEM

In tabel B3 is een combinatie gemaakt van de resultaten van HIS-SSM en RAEM. Het toevoegen van de lange termijn gevolgen van een overstroming aan HIS-SSM leidt tot een substantiële toename van de schade van een overstroming.

De economische schade in HIS-SSM bestaat uit bedrijfsuitval en indirecte schade gedurende de overstroming. De korte termijn economische schade uit RAEM is hiermee vergelijkbaar, maar wordt wel op een andere manier berekend. In tabel B3 zien we dat de uitkomsten dicht bij elkaar liggen.

Het toevoegen van de netto contante waarde van de middellange en lange termijn aan de fysieke schade uit HIS-SSM leidt tot een sterke toename van de totale schade van een overstroming. In dijkkring 14 en 15 neemt de schade met 44 en 53 procent toe tot respectievelijk 9,3 miljard euro en 4,9 miljard euro. In de dijkringen 16 en 22 is de toename respectievelijk 22 en 25 procent. In de kleine dijkringen 17 en 20 is de toename beperkt tot 18 en 15 procent. Dijkkring 21 is een uitschieter met bijna een verdubbeling van de schade tot 104 miljoen euro. Een verklaring hiervoor is op het eerste gezicht moeilijk te geven.

In het algemeen zien we dat het belang van de middellange en lange termijn economische effecten toeneemt met de omvang van de overstroming en de economische functie van het achterland.

Tabel B3: Gemiddelde schade per dijkkring van een overstroming in 2008, in miljoenen euro's, op basis van RAEM en HIS-SSM

Model	Schadepost	Dijkkring							
		14	15	16	17	20	21	22	
HIS-SSM	fysieke schade	6305	3074	3489	372	147	49	1870	
	economische								
HIS-SSM	schade	122	133	117	4	2	4	52	
HIS-SSM	totaal	6427	3207	3607	376	149	53	1922	
RAEM	korte termijn	73	163	118	6	2	7	36	
	middellange +								
RAEM	lange termijn	2906	1670	808	66	23	47	499	
RAEM	totaal	2979	1833	926	72	25	54	534	
HIS-SSM +RAEM	totaal	9284	4907	4415	445	172	104	2404	
	verschil (%) met HIS-SSM totaal	44%	53%	22%	18%	15%	96%	25%	

Bron: RAEM/HIS-SSM

Bijlage 4: Resultaten casus Maeslantkering

In tabel B4 en B5 zijn de resultaten van de casus weergegeven. In tabel B4 is de schade van de overstroming per alternatief in 2050 weergegeven. Hierbij maken we twee additionele aannamen. Ten eerste berekent HIS-SSM de schade van overstroming in 2040. Deze schadebedragen zijn ook van kracht in 2050. Ten tweede wordt de schade van HIS-SSM verhoogd met de middellange en lange termijnschade uit RAEM. RAEM heeft alleen de schade berekend van een overstroming in 2008. We nemen aan dat het opslagpercentage van RAEM op de schade van HIS-SSM gelijk blijft over de tijd en per projectalternatief.

Tabel B4: Overzicht totale schade overstroming in 2040 in nulalternatief en drie project-alternatieven

Model	HIS-SSM				Intensivering
	+RAEM	Nulalternatief	Gevolgreductie	Superdijken	sluitregime Maeslantkering
Jaar	2008	2050	2050	2050	2050
Dijkkring 14	9284	9501	7125	2660	9501
Dijkkring 15	4907	4061	2436	1259	4061
Dijkkring 16	4415	5569	4009	1392	5569
Dijkkring 17	445	492	295	148	492
Dijkkring 20	172	249	152	75	249
Dijkkring 21	104	153	87	43	153
Dijkkring 22	2404	2996	1648	929	2996

Bron: TNO, op basis van HIS-SSM/RAEM

In tabel B5 zijn de overstromingskansen per alternatief en dijkkring weergegeven. Deze zijn met grove aannamen berekend en moeten opgevat worden als indicatief. Bij 2015 is de aanname gemaakt dat het huidige achterstallige onderhoud is weggewerkt.

Tabel B5: Overzicht overstromingskansen in 2050 in nulalternatief en drie projectalternatieven

Dijkkring	HIS-SSM				Intensivering
	2015	Nulalternatief	Gevolgreductie	Superdijken	sluitregime Maeslantkering
Jaar	2015	2050	2050	2050	2050
Dijkkring 14	3981	1995	1995	5012	1995
Dijkkring 15	1995	1000	1000	1995	1000
Dijkkring 16	1259	794	794	1585	794
Dijkkring 17	6310	3162	3162	3981	3162
Dijkkring 20	3162	1585	1585	2512	1585
Dijkkring 21	1995	1259	1259	1585	1259
Dijkkring 22	1995	1000	1000	1585	1000

Bron: TNO, op basis van PC-RING