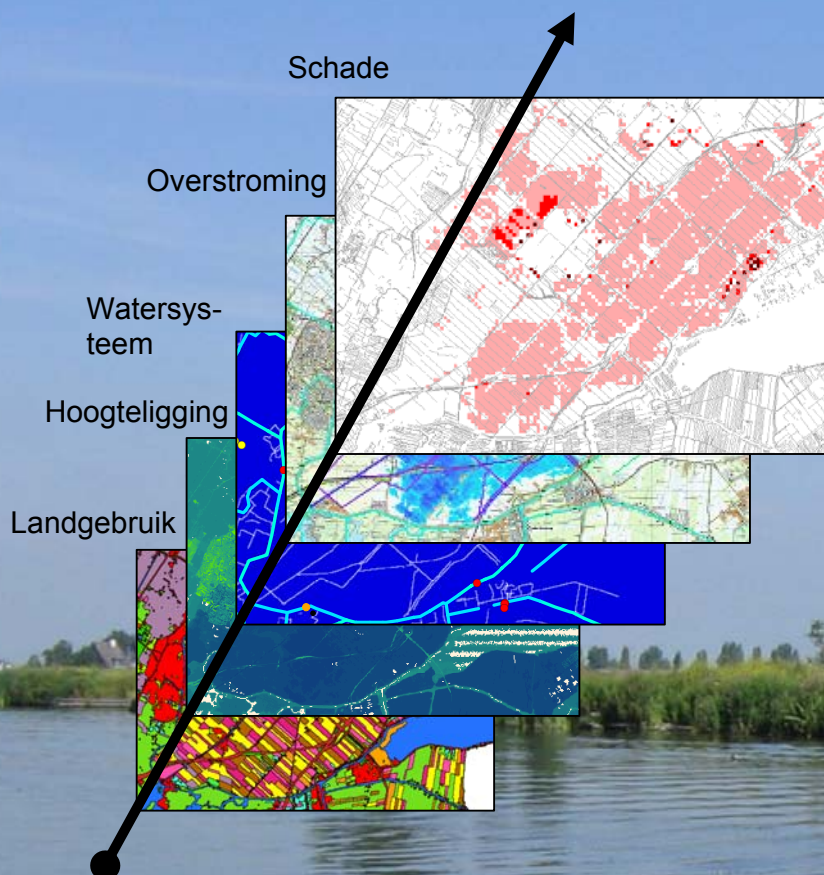




Afstudeeronderzoek:

“Leidraad voor beperking overstromings-
schade na doorbraak regionale waterkeringen”

December 2008
AJ Keizer

Afstudeeronderzoek: *Leidraad voor beperking overstromingsschade na doorbraak regionale waterkeringen*

Opleiding: Master Civil Engineering and Management, Universiteit Twente

Auteur: Arnoud Keizer

Afstudeercommissie: Prof.dr.ir. A.Y. Hoekstra (afstudeerdocent, Universiteit Twente),
dr.ir. M.J. Booij (begeleider intern, Universiteit Twente),
drs. M.J. Spijker (begeleider extern, HydroLogic)

Uitgave: Amersfoort, december 2008

Contact: a.j.keizer@gmail.com

Cover: Haarlemmermeer Ringvaart (foto: Janneke de Graaf)

Voorwoord

Dit rapport beschrijft het resultaat van mijn afstudeeronderzoek dat ik van mei tot en met december twee-duizend-en-acht uitvoerde bij HydroLogic te Amersfoort. Op 11 december zal ik als alles meezit mijn studie waar ik in het najaar van twee-duizend-en-twee voortvarend mee van start ging voorgoed beëindigen.

Graag wil ik van de gelegenheid gebruik maken om mijn begeleiders vanuit de Universiteit Twente, Arjen Hoekstra en Martijn Booij, te bedanken voor hun functie bij de begeleiding. Daarnaast wil ik Carolien Steinweg bedanken voor haar tips en tricks voor wat betreft het slachtoffer- en schademodel.

Ik wil HydroLogic, onder leiding van Arnold Lobbrecht, noemen voor het vertrouwen dat men in mij gehad heeft. Lof gaat uit naar mijn collega's op kantoor voor de motiverende houding ten opzichte van mij en voor het oplossen van enigerlei problemen, die ik op mijn pad tegen kwam. Mijn dank gaat in het bijzonder uit naar Maarten Spijker, die vanuit HydroLogic de dagelijkse begeleiding op zich genomen heeft. Ik heb een erg mooie, leerzame en gezellige tijd gehad in Amersfoort, op kantoor maar ook daar buiten.

Aan het einde van mijn zes-en-een-half jarige studie wil ik uiteraard mijn ouders bedanken voor de steun en toeverlaat en de benodigde financiële ondersteuning. Mijn studietijd was nooit zo mooi geweest zonder mijn nevenactiviteiten bij Zwem- en Polo Vereniging Piranha en de Algemene Drienerlose Studenten Sportvereniging Sportraad Universiteit Twente. Hierbij wil ik iedereen bedanken die mijn studententijd tot het feest gemaakt heeft die het was en in mijn herinnering altijd zal blijven.

Arnoud Keizer

Amersfoort, december 2008

Samenvatting

Het voorliggende onderzoek richt zich op het ontwikkelen van een leidraad voor de beperking van overstromingsschade binnen poldersystemen als gevolg van doorbraak van regionale waterkeringen. Het kenmerk van de meeste polders is dat het boezempeil hoger ligt dan het maaiveld. Doorbraak van boezemkades, zoals in Wilnis in 2003, leidt daardoor tot uitstroom van het boezemwater in de polder. Van oudsher heeft de focus altijd gelegen op het voorkomen van dit soort calamiteiten. Dit onderzoek heeft zich juist gericht op het beperken van de gevolgen, mocht het toch een keer fout gaan. Deze kans blijft namelijk altijd aanwezig.

Voor het beperken van overstromingsschade zijn een scala aan maatregelen mogelijk. In de eerste fase van het onderzoek zijn fysieke gevolgbeperkende maatregelen en de effecten daarvan op het beperken van de overstromingsschade geïnventariseerd. Daarbij is gebruik gemaakt van theoretische veronderstellingen en resultaten uit eerder praktijkonderzoek. Het Calamiteiten Informatie Systeem (CIS) dat HydroLogic eerder voor het Hoogheemraadschap van Rijnland ontwikkelde bleek daarbij een waardevol gereedschap te zijn. Waar het CIS zich alleen richtte op de maatregel boezemcompartimentering zijn in het afstudeeronderzoek echter ook andere maatregelen beschouwd.

Na het in kaart brengen van de mogelijke maatregelen is het effect van maatregelen voor de case Haarlemmermeer getoetst met behulp van een hydraulisch model (Sobek) en een schademodel (HIS SSM). Op basis van de resultaten van deze analyse - slachtoffer- en schadevermindering en de relatie met het primaire watersysteem - is een combinatie van maatregelen opgesteld. Doel hiervan was om te zien hoe de maatregelen in combinatie met elkaar functioneerden. Het voor de Haarlemmermeer ontwikkelde maatregelenpakket vermindert de overstromingsschade ten opzichte van de huidige situatie met ongeveer 70%. Hieruit blijkt dat gevolgbeperkende maatregelen voor dit gebied erg kansrijk kunnen zijn. Een aantal van de geselecteerde maatregelen biedt koppelkansen met andere functies in het gebied. Om de invloed van bepaalde onzekerheden te kunnen schatten zijn aanvullend enkele gevoeligheidsanalyses uitgevoerd.

Het hoofddoel van het onderzoek was het ontwikkelen van een leidraad waarmee aan de hand van gebiedsgegevens de kansrijkheid van fysieke gevolgbeperkende maatregelen te bepalen is. De achterliggende gedachte hiervan is het maken van een voorselectie, zodat het effect van deze maatregelen niet in tijdrovende simulaties hoeft te worden bepaald. De effectiviteit van maatregelen verschilt per gebied. Een leidraad, die als basis voor het zoeken naar effectieve maatregelen voor schadebeperking zou kunnen dienen, bestaat op dit moment niet.

Op basis van de hierboven beschreven resultaten voor de Haarlemmermeer is de leidraad voor het ontwikkelen van schadebeperkende maatregelen voor poldersystemen ontwikkeld. Met gegevens over het landgebruik, de hoogteligging, het watersysteem en overstromings- en schadeberekening(en) van een polder is dit mogelijk. In de leidraad zijn alle in dit onderzoek beschouwde maatregelen opgenomen. Na het opstellen van de leidraad is de case Gouda/Boskoop gebruikt als eerste beproeving. Op basis van deze toepassing heeft de leidraad verder vorm gekregen. De leidraad biedt een handvat voor de selectie van kansrijke schadebeperkende maatregelen voor regionale poldersystemen. Met de met behulp van de leidraad geselecteerde maatregelen is voor het gebied Gouda/Boskoop een schadereductie mogelijk van 50%.

De belangrijkste beperking van de leidraad is het type maatregelen dat beschouwd is. Het huidige onderzoek heeft zich slechts gericht op fysieke maatregelen die men binnen de schakels preventie en repressie uit de veiligheidscyclus kan nemen om schade te beperken. Hoewel er in dit onderzoek een belangrijke stap voorwaarts is gezet, moet de huidige leidraad daarom gezien worden als een basis. Uitbreiding met andere type maatregelen en bijvoorbeeld ook gericht op overstromingskansen is dan ook gewenst. Toetsing van de leidraad door andere personen en in andere waterschappen is nodig om de bruikbaarheid van de leidraad verder te

kunnen bepalen. Met behulp van een aantal nieuwe toepassingen en naar aanleiding daarvan eventueel aanvullingen en bijstellingen (iteratieslagen) kan de leidraad verder vorm krijgen.

Inhoud

Voorwoord.....	3
Samenvatting	4
1. Inleiding	8
1.1. Achtergrond.....	8
1.2. Afbakening	9
1.3. Onderzoeksdoel	10
1.4. Onderzoeksvragen.....	10
1.5. Leeswijzer.....	10
2. Haarlemmermeer	11
2.1. Inleiding	11
2.2. Gebiedsbeschrijving	11
2.3. Huidige Situatie	12
2.4. Maatregelen en effecten.....	15
2.4.1. Gebiedscompartimentering (algemeen).....	15
2.4.2. Partitie strategie.....	16
2.4.3. Secundaire kering	16
2.4.4. Waardebescherming.....	17
2.4.5. Retentiegebied.....	18
2.4.6. Boezemcompartimentering.....	20
2.4.7. Waterloopcompartimentering in de polder	23
2.4.8. Overstromingsbestendige inrichting	24
2.5. Maatwerk	25
2.6. Combinaties.....	26
3. Leidraad	30
3.1. Inleiding	30
3.2. Doelstelling.....	30
3.3. Opbouw.....	30
3.4. Maatregelen	33
3.4.1. Gebiedscompartimentering (algemeen).....	33
3.4.2. Partitie strategie.....	35
3.4.3. Secundaire kering	35
3.4.4. Waardebescherming.....	35
3.4.5. Retentiegebied.....	36
3.4.6. Boezemcompartimentering.....	39
3.4.7. Waterloopcompartimentering in de polder	41
3.4.8. Overstromingsbestendige inrichting	42
3.4.9. Inzet gemaal.....	43
3.5. Maatwerk	44
3.6. Combinaties.....	44
4. Discussie, conclusies en aanbevelingen.....	45
4.1. Discussie.....	45
4.2. Conclusies.....	46
4.3. Aanbevelingen.....	47
Referenties.....	49
Lijst van tabellen.....	52
Bijlagen.....	53
A: Begrippenkader	53
B: Veiligheidsketen	58
C: Het Hoogheemraadschap van Rijnland	60
D: Sobek hydraulisch model	61
E: Schade- en Slachtoffermodule	62
Schiphol in het HIS SSM	68
F: Hoogtemodel.....	70
G: Huidige situatie HLM	73
Schadeverdeling per categorie	75
H: Maatregelen.....	77

Gebiedscompartimentering (algemeen).....	77
Secundaire kering	78
Retentiegebied.....	78
Boezemcompartimentering	78
Overstromingsbestendige inrichting	79
Maatwerk	82
Combinaties.....	83
Maatregelenpakket	84
Criteria	85
Gevoeligheid	86
I: Toepassing Leidraad.....	95
Toetsing	96
Evaluatie	98
Gegevens Gouda/Boskoop	100

1. Inleiding

Traditioneel is het waterbeheer in Nederland erop gericht om overstromingen het hoofd te kunnen bieden met behulp van sterke en hoge dijken. Door dit eeuwenoude denken hebben we in Nederland te maken met een kleine kans op overstromingen. Tegelijkertijd kunnen overstromingen wel een groot effect (enorme schade) veroorzaken als het mis gaat. Een kansrijk alternatief of aanvulling voor het verhogen van dijken is het accepteren van en het aanpassen aan de gevolgen van overstromingen. Afhankelijk van het betreffende gebied kunnen beide werkwijzen of een combinatie daarvan uitkomst bieden.

1.1. Achtergrond

Regionale waterkeringen

In Nederland wordt de overstromingsveiligheid van primaire dijkringen bepaald op basis van maatgevende afvoeren van rivieren en waterstanden van de zee, behorende bij een voor een bepaalde locatie vastgestelde overschrijdingskans. Deze is per dijkkring gelijk en is niet gelijk aan de overstromingskans. De maatgevende waterstanden bepalen de gewenste hoogte van de primaire waterkeringen (RWS, 2005).

Voor regionale waterkeringen bestonden er tot voor kort geen normen. Al in 2004 constateerde het RIVM en het Milieu- en Natuurplanbureau dat de rol van regionale waterkeringen in het huidige veiligheidsbeleid onderbelicht is (MNP en RIVM, 2004). Veiligheid tegen overstromingen lijkt door velen te worden beschouwd als een zaak van primaire waterkeringen. Hiermee wordt het belang van de regionale keringen onderschat. De laatste jaren zijn provincies, in samenspraak met de waterschappen, normen gaan opstellen, waarin eisen worden gesteld aan de hoogte en de stabiliteit van de keringen. De opzet van deze normering is vergelijkbaar met die van primaire waterkeringen. In plaats van naar de afvoeren wordt er hier echter direct naar de optredende waterstanden gekeken. Zo geldt voor boezemkades een normering die gericht is op overschrijdingsfrequenties van boezempeilen per kadeklasse (UvW en IPO, 2004). Omdat bij een doorbraak de kans op slachtoffers relatief klein is bestaat het gevolg vooral uit schade. Door doorbraak van regionale waterkeringen kan de schade en de maatschappelijke ontwrichting enorm groot zijn. De commotie rond Wilnis (2003) en de evacuatie van een deel van Stein (2004) laten dit zien (van Engelen, 2004). Dit onderzoek zal zich vooral richten op het beheer van de regionale waterkeringen.

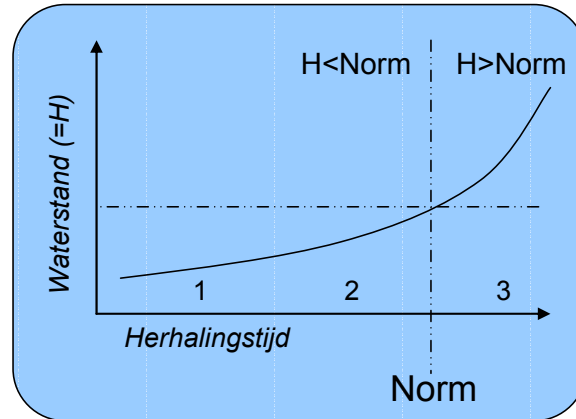
Overstromingsrisico

Het overstromingsrisico voor regionale waterkeringen wordt bepaald door de kans op overstroomd worden vermenigvuldigd met het gevolg daarvan (de schade en het aantal slachtoffers). In de huidige veiligheidsbenadering wordt niet expliciet het risico voor de achterliggende gebieden meegenomen. Overheden (RWS, provincies en waterschappen) streven daar wel naar (RWS, 2005). Als in de toekomst een vastgesteld risico niet aanvaardbaar is, kan gekeken worden naar manieren om dit risico te verkleinen. Dit kan enerzijds door de kans op overstroomd worden terug te dringen (o.a. door preventie) en anderzijds door de gevolgen van de overstroming te beperken (o.a. door repressie).

Gevolgen

Het is voor de beherende overheden van groot belang om waar mogelijk de gevolgen in geval van bezwijken van regionale waterkeringen te beperken. Het is daarom belangrijk om, voordat het ergens mis gaat, goed over de gevolgen van overstromingen na te denken. Dit staat (deels) los van de gestelde normen en los van de eventuele overgang naar een op overstromingsrisico's gebaseerde normering (RWS, 2005). Ondanks de bestaande normen zijn er namelijk situaties denkbaar waardoor het achterliggende gebied alsnog te maken kan krijgen met overstromingen (zie ook Figuur 1).

- Waterkeringen kunnen bezwijken bij een situatie die minder dan maatgevend is, ondanks dat ze aan de norm voldoen. Door een leemte in kennis en inzichten en onzekerheden van basisgegevens, kan bijvoorbeeld een onbekend bezwijkmechanisme optreden (bijvoorbeeld Wilnis).
- Het is mogelijk dat een kering niet aan de norm voldoet en als gevolg hiervan bezwijkt, bij een situatie die minder dan maatgevend is.
- Wanneer de omstandigheden meer dan maatgevend zijn wordt er aan de norm voorbij gegaan, waardoor de kering mogelijk bezwijkt.



Figuur 1 Overstromingsschade mogelijk door: leemte in kennis, inzicht of gegevens (1), kering voldoet niet aan norm (2) en waterstand overschrijdt norm (3)

Maatregelen

Door het nemen van maatregelen kan het overstromingsrisico verkleind worden. Daar waar het om korte trajecten gaat kan het versterken van dijken erg kosteneffectief zijn. Bij langere trajecten kan dit door de toename van het restrisico een onveiliger systeem opleveren. De zogenaamde harde en zachte gevolgen van een overstroming vanuit de boezem kunnen verminderd worden door het nemen van maatregelen in het regionale watersysteem zoals:

- Het beperken van de instroom van water (waterloopcompartimentering)
- Een overstromingsbestendige inrichting, waardoor belangrijke functies geen hinder ondervinden van het water (spoordijk, terpen, waterdichte/drijvende huizen)
- Het sturen van water naar locaties waar het minder schade veroorzaakt (compartimentering)
- Evacuatie van mens, dier en materiaal.
- Verhoging van het waterbewustzijn
- Het stimuleren van het adaptieve vermogen van mensen

Een aantal van deze maatregelen zijn opgenomen in calamiteitenplannen. Op grond van artikel 69 van de Waterstaatswet 1900 zijn waterschappen verplicht om een dergelijk plan op te stellen. Sinds 2002 moet men deze af stemmen met de gemeenten, regionale brandweren en andere beheerders in het beheersgebied (Robbemont, 2007).

1.2. Afbakening

Met een overstroming wordt in dit onderzoek het vollopen van een polder door een dijkdoorbraak van een regionale kering bedoeld. Dit valt onder één van de ramptypes van overstroming die omschreven worden in de Leidraad Maatramp (Ministerie van BZK, 2000). Een polder kan ook vollopen als gevolg van langdurige en/of zware regenval en het bezwijken van een waterkerend kunstwerk, bijvoorbeeld een sluis. Binnen dit afstudeeronderzoek zijn echter alleen regionale dijkdoorbraken beschouwd.

Verder is gekozen voor een focus op schadebeperkende maatregelen, anders dan maatregelen die de kans van doorbraak verkleinen. De overstromingsschade is een maat voor het overstromingsrisico. Voor een kwantitatieve berekening van het overstromingsrisico zou ook nog gekeken moeten worden naar de kans van voorkomen van de overstroming. Het bepalen van de doorbraakkans van de keringen valt echter buiten dit onderzoek. De methode wordt momenteel in Veiligheid Nederland in Kaart (VНК) deel 2 ontwikkeld en het gaat te ver om dit in dit afstudeeronderzoek al toe te passen. Het vergelijken van kansverminderende en schadeverminderende maatregelen is hierdoor slecht mogelijk. De kans op doorbraak van een

kering zal altijd aanwezig zijn, zodat er altijd aandacht moet zijn voor het beperken van de gevolgen van een overstroming. Het doel van de in dit onderzoek beschouwde maatregelen is dan ook het verminderen van overstromingsschade ten aanzien van regionale dijkdoorbraken.

Binnen het onderzoek is rekening gehouden met de eventuele bedreigingen vanuit het primaire watersysteem. Het onderzoek richt zich echter voornamelijk op organisaties die binnen hun beheersgebied te maken hebben met het beheer van regionale polder systemen, met daarbij behorende karakteristieke vormen van waterbeheer. Het onderzoek richt zich voornamelijk op het beperken van economische schade, het slachtoffer risico speelt bij regionale keringen namelijk een niet-onbelangrijke, maar wel ondergeschikte rol. Maatregelen zoals evacuatie en vluchtplaatsen die er primair op gericht zijn om het aantal slachtoffers en niet zo zeer de schade te beperken, zijn daarom buiten beschouwing gelaten.

Er is voor gekozen om voor wat betreft maatregelen te focussen op preventieve en repressieve maatregelen. Proactieve, preparatie en nazorg maatregelen zijn niet beschouwd (zie Bijlage B). Binnen organisaties, zoals Rijnland, zijn beide soorten maatregelen bij verschillende onderdelen van de organisatie ondergebracht. Hierdoor worden de maatregelen eigenlijk nauwelijks in samenhang met elkaar beoordeeld. Er liggen kansen om te kijken naar combinaties van maatregelen in beide schakels. De focus heeft als gevolg dat maatregelen die zich richten op aanpassing van het landgebruik, de allocatie van functies bijvoorbeeld buiten het projectgebied of elders binnen het gebied niet worden beschouwd. Hierdoor richt het onderzoek zich vooral op fysieke maatregelen die een schadeverminderende uitwerking hebben. Er wordt vanuit gegaan dat geplande toekomstige ontwikkelingen doorgang zullen vinden.

1.3. Onderzoeksdoel

Het ontwikkelen en toepassen van een leidraad voor waterschappen in het algemeen en binnen het Hoogheemraadschap van Rijnland in het bijzonder, die er op gericht is om voor elke dijkkring van regionale waterkeringen een kansrijk schadebeperkend pakket van fysieke gevolgbeperkende maatregelen samen te stellen, om de totale overstromingsschade met betrekking tot deze regionale waterkeringen te beperken.

1.4. Onderzoeksvragen

De in dit onderzoek te beantwoorden onderzoeksvragen zijn onder te verdelen in een tweetal hoofdvragen die hieronder zijn weergegeven.

- Welke fysieke gevolgbeperkende maatregelen kunnen worden genomen om overstromingsschade als gevolg van bezwijken van regionale keringen nu en in de veranderende toekomst te beperken?
- Is het mogelijk om de kansrijkheid van dergelijke schadebeperkende maatregelen aan de hand van bepaalde gebiedskenmerken in te schatten en generieke statements hieromtrent te bundelen in een leidraad?

1.5. Leeswijzer

In de volgende hoofdstukken komen de resultaten van het hierboven besproken onderzoek aan bod. In Hoofdstuk 2 zal worden ingegaan op de case Haarlemmermeer en de maatregelen die in deze polder genomen kunnen worden. Dit resulteert uiteindelijk in een maatregelenpakket voor de beperking van overstromingsschade. In Hoofdstuk 3 wordt de leidraad gepresenteerd. In de leidraad zijn alle maatregelen uit de case Haarlemmermeer opgenomen, aangevuld met maatregelen die vanuit een andere case, Gouda/Boskoop, toegevoegd konden worden. In Hoofdstuk 4 zijn conclusies en aanbevelingen opgenomen en veel voorkomende begrippen zijn in Bijlage A weergegeven. In de hoofdtekst zijn verwijzingen opgenomen naar de Bijlagen B tot en met I.

2. Haarlemmermeer

2.1. Inleiding

De Haarlemmermeer (HLM), gelegen in het beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Rijnland (zie Bijlage C), is als uitgangspunt voor de ontwikkeling van de leidraad gekozen. Na een beschrijving van het gebied, komt de selectie van afzonderlijke maatregelen aan bod, die daarna in combinatie resulteren in het opstellen van een kansrijk schade beperkend maatregelenpakket.

2.2. Gebiedsbeschrijving

Inleiding

De HLM is ontstaan door de drooglegging van het Groot Haarlemmermeer. De huidige polder, gelegen op gemiddeld 4.5 – m NAP is ongeveer 18 500 ha groot. Er wonen ruim 130 000 mensen en de belangrijkste kernen zijn Hoofddorp en Nieuw-Vennep (zie Figuur 2). Behalve een woonfunctie heeft de HLM een belangrijke landbouwfunctie. Daarnaast heeft het gebied door Schiphol een belangrijke functie voor de luchtvaart. In mindere mate heeft het gebied een recreatieve functie (Projectconsortium, 2006).

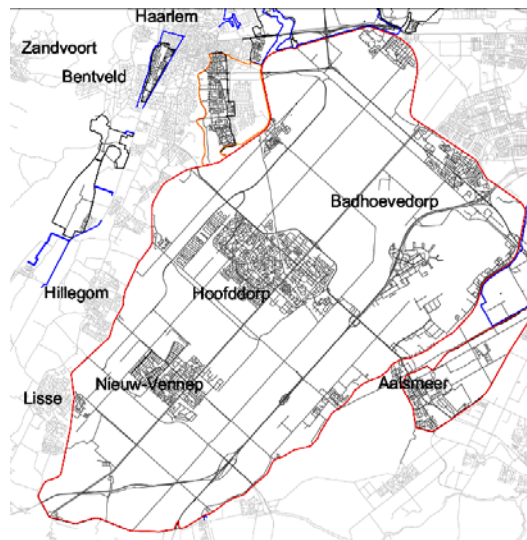
Watersysteem

De HLM wordt begrensd door de Ringvaart. De gehele polder watert op deze boezem af. De centrale hoofdwatergang in de polder is de Hoofdvaart. De Hoofdvaart doorkruist de polder van zuid naar noord. De Hoofdvaart is circa 20 km lang en bevat afgezien van een damsluis in de Liniedijk geen waterkerende elementen. Loodrecht op de Hoofdvaart ligt een aantal dwarsvaarten. Er bevinden zich vier poldergemalen die het water uit de polder naar de boezem lozen. De bodem van het gebied bestaat voornamelijk uit zeeklei. Lokaal, langs de randen, liggen veengronden. In de polder treedt licht brak grondwater uit (Projectconsortium, 2006).

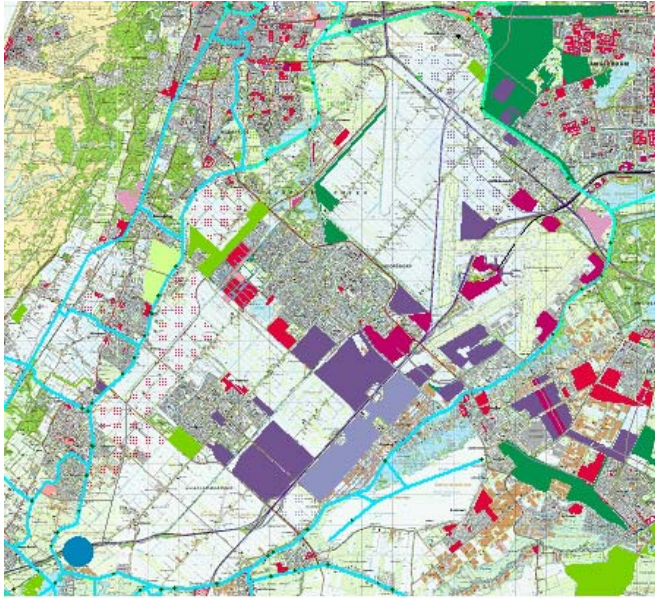
De Liniedijk doorsnijdt de HLM en is ten behoeve van de Amsterdamse Waterlinie aangelegd. De dijk heeft gedurende een onbekende periode, maar in ieder geval in 1955, een waterkerende functie voor de beveiliging van Schiphol gehad. Daartoe waren nieuwe schuiven geplaatst voor de drie originele bomvrije damsluizen in de IJ-tocht, Hoofdvaart en Slotertocht (Stichting Militair Erfgoed Groot-Amsterdam, 2008). De waterkerende functie is nu geen harde eis meer (Provincie Noord-Holland, 2005). De dijk is in de loop der tijd op verschillende plaatsen door allerlei infrastructuur doorsneden. De meest ingrijpende doorsnijding daarvan is de A12.

Landgebruik

De HLM kent een gezonde economie. Onder impuls van de luchthaven Schiphol is de bedrijvigheid de afgelopen decennia enorm toegenomen. In termen van werkgelegenheid zijn de luchthaven Schiphol, de handel en de zakelijke dienstverlening verantwoordelijk voor 75% van de werkgelegenheid in de polder. Naar oppervlak is de landbouw met afstand het grootst. Cultuurgrond beslaat bijna de helft van alle oppervlakte in de HLM. Naast Schiphol hebben ook de grote woonkernen van Nieuw-Vennep en Hoofddorp en de kleinere woonkernen een aanzienlijk ruimtebeslag. De hoeveelheid ruimte die is bestemd voor recreatieve voorzieningen en natuur is beperkt (Projectconsortium, 2006).



Figuur 2 De Haarlemmermeer met Boezem (rood) en de belangrijkste woonkernen (Provincies Noord-Holland, Zuid-Holland en Utrecht, 2005).



Figuur 3 Gebiedsontwikkeling HLM (Nirov, 2008)

Het is van belang de maatregelen ter vermindering van overstroomingsschade in de HLM te plaatsen binnen de context van de ruimtelijke ontwikkelingen in het gebied. Aangezien de proactieve schakel buiten beschouwing gelaten wordt, kan er vanuit worden gegaan dat de ruimtelijke ontwikkelingen, zoals deze nu bekend zijn, uitgevoerd gaan worden. Dit wil overigens niet zeggen dat de vraag of het verstandig is om de HLM vol te bouwen er niet meer toe doet. Essentie voor de HLM is in ieder geval dat men het aantal woningen sterk wil laten toenemen. Verder komen er twee grote bedrijventerrein bij Nieuw-Vennep en Hoofddorp. De zuidwestkant van de HLM zal worden ingericht met recreatie en

waterberging in combinatie met wonen. De oostkant zal haar overwegend landbouwkundige functie behouden (tuinbouw) met ruimte voor uitbreiding richting de A4. Over het geheel zal het landbouw areaal afnemen en verschuiven naar hoogwaardigere kapitaalintensievere teelten (Projectconsortium, 2006). In Figuur 3 zijn de toekomstige ontwikkelingen voor de HLM weergegeven zoals ze er anno 2008 voorstaan. Voor dit onderzoek zijn zowel vlakdekkende ontwikkelingen als de realisatie van nieuwe eventueel verhoogde lijnelementen van belang.

2.3. Huidige Situatie

Een maat voor het overstroomingsrisico is de overstroomingsschade. Voor de HLM is deze bepaald door voor een aantal geselecteerde doorbraaklocaties modelruns uit te voeren met een hydraulisch model en de resultaten hiervan door te rekenen met een overstroomingsschade model. Hieronder worden beide modellen toegelicht en worden de resultaten voor wat betreft de huidige situatie besproken.

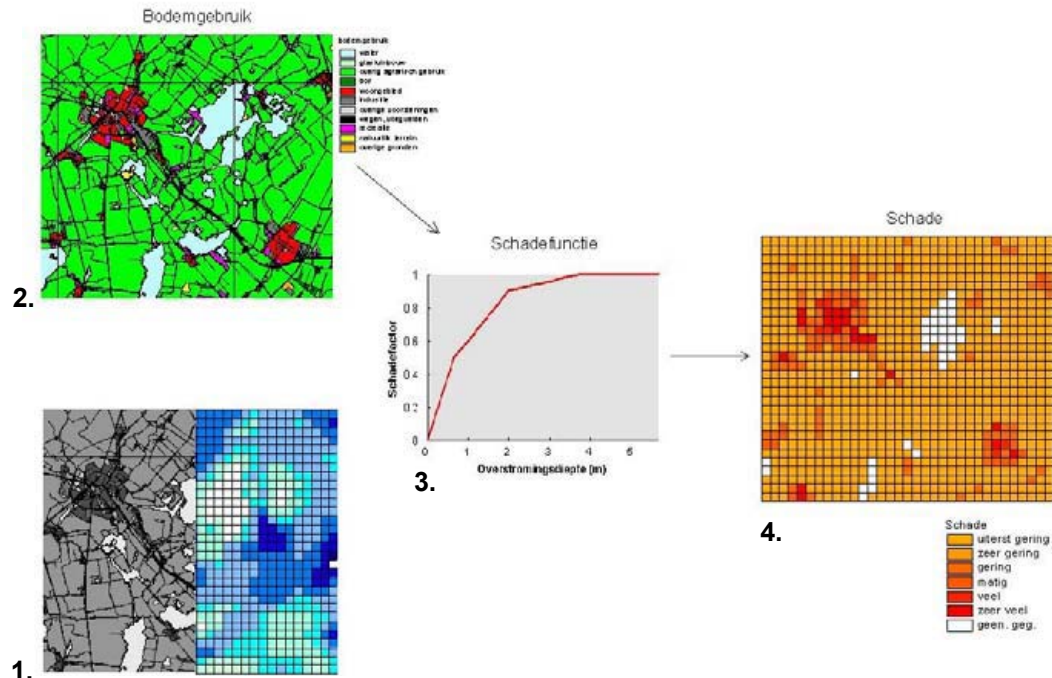
Hydraulisch model

Bij het modelleren van de HLM is gebruik gemaakt van een hydraulisch model genaamd Sobek. In dit model is het gehele beheersgebied van Rijnland opgenomen. De boezemwatergangen zijn daarbij in 1D gemodelleerd. Het verloop van de overstrooming in een polder na een doorbraak van een boezemkade is gemodelleerd met de 2D module. Aan het gebruik van dit model liggen een aantal belangrijke aannames en beperkingen ten grondslag welke zijn weergegeven in Bijlage D.

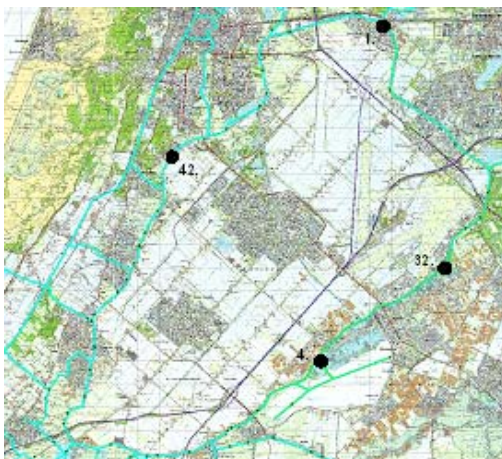
Schade model

Binnen Nederland is de HIS Schade- en Slachtoffermodule (HIS SSM) het standaard rekenmodel voor het in kaart brengen van overstroomingsschade. Deze standaardmethode voor schade- en slachtoffermodellering is in opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW) van Rijkswaterstaat (RWS) ontwikkeld (RWS, 2005). Op dit moment kan met de module de directe en indirecte monetair waardeerbare schade ten gevolge van een overstrooming worden berekend. Ook kan de schade die ontstaat bij toeleverende en afnemende

bedrijven buiten het getroffen gebied als gevolg van verstoring van het productieproces worden bepaald. In Figuur 4 is weergegeven hoe de schadeberekening tot stand komt. Naast de schademodule is in het model een slachtoffermodule opgenomen. De in het HIS SSM opgenomen onderdelen bevatten belangrijke aannames en beperkingen die in bepaalde situaties een cruciale rol kunnen spelen. De voornaamste zijn terug te vinden in Bijlage E.



Figuur 4 Methode schadeberekening HIS SSM. Output van een overstromingsberekening (1). Vorm van bodemgebruik (2) kan als gevolg van overstroming schade oplopen die per gebruiksvorm is vastgelegd in een schadefunctie (3). De combinatie van de schade per cel leidt tot een vlakdekkend schadebeeld (4). De som levert de totale schade voor het betreffende gebied (RWS, 2005)



Figuur 5 Geselecteerde doorbraaklocaties voor de HLM

Overstromingsscenario's

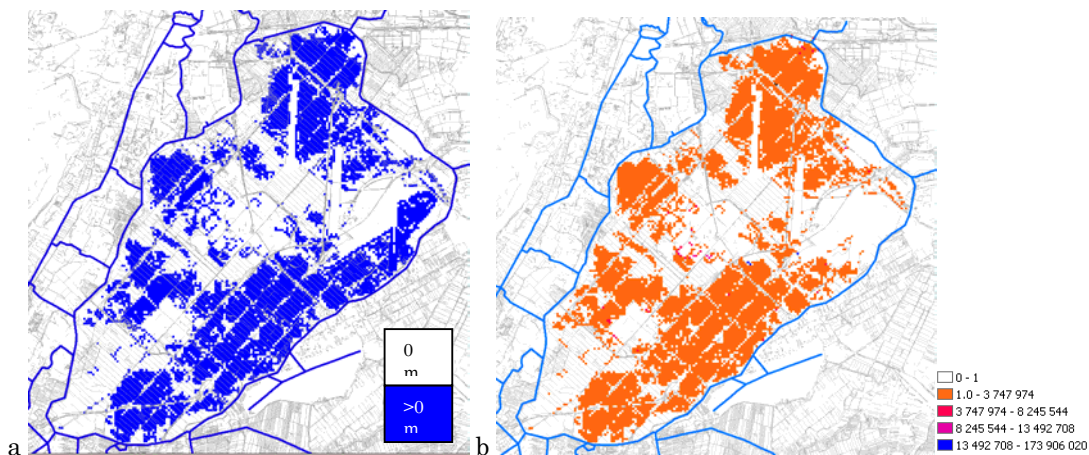
Met behulp van resultaten uit het CIS (HL, 2007a) is gekeken naar de effecten van overstromingen als gevolg van doorbraken van de HLM-boezem. Er blijken voor wat betreft de overstromingsdiepte een aantal doorbraken te bestaan die naar verwachting grote schade met zich meebrengen. Voor wat betreft de karakteristieken van de overstroming zijn deze situaties echter wezenlijk verschillend. Uiteindelijk zijn 4 doorbraaklocaties geselecteerd waarmee de huidige situatie goed in kaart kan worden gebracht (zie Figuur 5)¹. De scenario's zijn geselecteerd op basis van verschillen in het overstromde oppervlak, de daarbij optredende overstromingsdieptes en de aanwezigheid van bebouwing en infrastructuur.

¹ De codering van de doorbraaklocaties komt voor de lezer vermoedelijk niet logisch over. In verband met een overzichtelijke administratie van alle data is de codering gelijk aan de codering die eerder in het CIS gebruikt werd.

Als hulpmiddel is hierbij de Richtlijn Normering Compartimenteringskeringen gebruikt (Geerse et al., 2007). Omdat in het zuiden relatief weinig economische waarde aanwezig is (landbouw), ligt de nadruk meer op doorbraken in het midden en noorden van de HLM. Door de hoogteligging in het zuiden vinden als gevolg van de geselecteerde doorbraken overigens alsnog wel overstromingen plaats.

Resultaten

De resultaten van de Sobek modelruns en de HIS SSM schademodellering zijn hieronder samengevat (zie Tabel 1 en Figuur 6). Uit de tabel blijkt dat van de 4 geselecteerde doorbraakscenario's de grootste schade ontstaat bij doorbraak van de boezem op doorbraaklocatie 4. Vergeleken met de andere doorbaken is bij deze locatie het overstroomd oppervlak ook het grootst. De schade aan Schiphol is als gevolg van doorbraak 4 en 32 groot te noemen. De afzonderlijke resultaten van de overstromingsberekeningen voor de 4 geselecteerde doorbraakscenario's zijn in Bijlage G verder toegelicht.



Figuur 6 a) Overstromingsbeeld van de 4 geselecteerde doorbraken samen en b) gesommeerd schadebeeld van de 4 representatieve doorbraken

Ter evaluatie van de 4 geselecteerde doorbraakscenario's kan worden gesteld dat deze vrij goed gekozen zijn. Afgezien van het zuidoosten en enkele hogere delen van de polder krijgt de gehele polder met overstromingen te maken (zie Figuur 6a). Daarnaast overlappen de afzonderlijke overstromingsbeelden elkaar nauwelijks.

Het voor de HLM te ontwikkelen maatregelenpakket zal zich richten op het terugdringen van de totale schade als gevolg van de 4 gekozen doorbraakscenario's. Deze schade bedraagt in totaal 1.51 miljard en ontstaat in het theoretische geval dat de 4 geselecteerde doorbraken tegelijkertijd plaatsvinden (zie Figuur 6 en Tabel 1).

Tabel 1 Samenvatting resultaten huidige situatie per doorbraakscenario

Doorbraaklocatie	Tot. schade (€ miljoen)	Tot. slachtoffers	Schade (€ per m ²)
1	236	13	11
4	531	12	13
32	499	2	36
42	244	14	22
Totaal	1.51 miljard	41	

Naast de totale schade kan gekeken worden naar de schadeverdeling over de verschillende schadecategorieën die in het HIS SSM gebruikt worden. Zo vindt er bij doorbraak 4 enorme

schade plaats aan industrie, banken en verzekeringen, eengezinswoningen en stedelijk gebied. Doorbraak 32 veroorzaakt de grootste directe (en indirecte) schade aan Schiphol. Bij dit doorbraakscenario ontstaat ook grote schade aan transport/communicatie en banken/verzekeringen. Een overzicht van de directe schade, de gewogen indirecte schade en de schade door bedrijfsuitval is per doorbraakscenario weergegeven in Figuur 43 in Bijlage G.

Slachtoffers

Waar de schade op locatie 4 het grootst is, is het aantal slachtoffers dat niet. Bij doorbraaklocatie 42 vallen de meeste slachtoffers. Doorbraak 32 veroorzaakt nauwelijks slachtoffers, doordat hier geen woongebieden in de buurt gelegen zijn. De exacte locaties waar de slachtoffers vallen is niet aan te wijzen. Wel kan inzichtelijk worden gemaakt waar de kans op slachtoffers het grootst is (zie Bijlage G, Figuur 41). Zoals verwacht vallen de meeste slachtoffers bij de bres en daar waar veel woningbouw aanwezig is. Alle slachtoffers vallen door onderkoeling, vermoeiing of beknelling (zie Bijlage E). Als de schade door slachtoffers in geld wordt uitgedrukt bedraagt de gemiddelde schade door het aantal slachtoffers in de HLM 6% van de met HIS SSM bepaalde schade (SWOV, 2007). De economische schade als gevolg van het aantal slachtoffers is daarom relevant te noemen. Ook op basis van de emotionele schade als gevolg van het aantal slachtoffers zal in het vervolg van het onderzoek het aantal slachtoffers worden meegenomen als beoordelingscriterium.

2.4. Maatregelen en effecten

Maatregelen kunnen zich specifiek richten op het terugdringen van de kans op overstroming dan wel op het terug dringen van de gevolgen. Vaak wordt hierbij naar een combinatie gezocht. Binnen de schakels preventie en repressie zijn beide soorten maatregelen mogelijk. In deze paragraaf komen fysieke gevolgbeperkende maatregelen en hun effecten aan bod die binnen de HLM genomen kunnen worden om de overstromingsschade terug te dringen. Voor enkele maatregelen is aanvullende informatie opgenomen in Bijlage H.

2.4.1. Gebiedscompartimentering (algemeen)

Gebiedscompartimentering is de compartimentering binnen dijkkringen van primaire dan wel regionale keringen. Door gebruik te maken van bestaande lijnvormige elementen, zoals regionale keringen, oude kades, spoorwegtracés en verhoogde wegen, wordt geprobeerd het gebied zo in te delen dat het water bij een doorbraak wordt tegengehouden, vertraagd of geleid. Door tegenhouden wordt voorkomen dat bepaalde gebieden onderlopen. Door het water op te houden krijgen de bewoners ook meer tijd om zich in veiligheid te brengen. Dit speelt vooral een rol bij calamiteiten met primaire keringen. Met het geleiden van de waterstroom wordt de route van het water beïnvloed. Door op goed doordachte plaatsen gaten of overlaten in de compartimenteringsdijken te maken, kan men de doorloopvolgorde van de compartimenten beïnvloeden. Gebiedscompartimentering kan gepland (preventie) of ongepland (repressie) plaatsvinden. Bij de geplande vorm van gebiedscompartimentering is er ruim voorafgaand aan een calamiteit nagedacht over het effect van de compartimentering (Kronberger et al., 2007).



Figuur 7 Strategieën voor gebiedscompartimentering binnen een polder a) Partitie strategie b) Strategie van secundaire kering en c) Waardebescherming strategie

Bij gebiedscompartimentering kunnen verschillende strategieën worden toegepast (zie Figuur 7). Bij een breed verspreide economische waarde ligt het meer voor de hand om een aantal grootschalige partities te kiezen om het gehele gebied zo homogeen mogelijk te beschermen. Daarnaast kan worden gekozen voor een zogenaamde secundaire kering strategie, waarbij de

volledige dijkkring beveiligd wordt met een extra dijk. De derde strategie voor het beperken van overstromingsschade is het ophogen of omdijken van objecten in het gebied die extra beschermd moeten worden (waardebescherming). Deze maatregel gaat uit van een scheiding tussen water en bebouwing of belangrijke economische activiteiten. Zo kan ervoor gekozen worden om relatief kleine compartimenten te maken, waarin de hoogste economische waarde van een gebied geconcentreerd is. Nadeel van alle compartimenteringsstrategieën is dat de overstromingsdiepte buiten de beschermde objecten verder zal stijgen (Oost en Hoekstra, 2007). Het combineren van de verschillende compartimentering strategieën is ook een mogelijkheid, maar is in dit onderzoek niet beschouwd. In de volgende paragrafen worden de strategieën voor gebiedscompartimentering verder uitgewerkt. In Bijlage H is achtergrondinformatie over gebiedscompartimentering (in het algemeen) te vinden.

2.4.2. Partitie strategie

Op basis van eerder onderzoek is er voor de HLM voor gekozen om in verband met de niet-homogene verdeling van het schadepotentieel, de partitie strategie te laten afvallen. Wel is waterloopcompartimentering in combinatie met de Liniedijk een goede oplossing gebleken. Het grootste effect ontstaat echter door het compartimenteren van de waterlopen en in die zin valt het effect grotendeels onder de maatregel waterloopcompartimentering in de polder. Deze maatregel komt later in deze paragraaf aan bod.

2.4.3. Secundaire kering

Gebiedscompartimentering met behulp van een secundaire waterkering in de HLM is mogelijk door slim gebruik te maken van bestaande en toekomstige infrastructurele elementen. Het betreft werkzaamheden zoals het aanleggen van parallelwegen langs de A4 en het aanleggen van een nieuwe weg van de A4 naar het noorden. De lengte van het traject van de secundaire kering bedraagt ongeveer 25 km. Voor ongeveer de helft van dit traject kan worden meegelift op de aanleg van nieuwe of het onderhouden of uitbreiden van bestaande infrastructuur (zie Figuur 8 en Figuur 46 in Bijlage H)(Nirov, 2008). De binnenring die ontstaat, biedt extra bescherming voor een groot deel van de HLM inclusief de waardevolle gebieden zoals Hoofddorp en Nieuw-Vennep; het water blijft tussen de boezem en de secundaire kering. Ten noorden van de Liniedijk is het niet verstandig om een secundaire kering aan te leggen met behulp van bestaande dan wel aan te leggen of te vernieuwen infrastructuur. Schiphol grenst aan de westzijde van de HLM direct aan de boezem. In het noorden van de HLM zal bij realisatie van een secundaire kering de schade aan Zwanenburg sterk toenemen. Het verminderen van het overstroomd oppervlak resulteert hier niet in schadevermindering. Bovendien blokkeert een secundaire kering in dit gebied de natuurlijke berging die mogelijk is tussen de Polder- en Zwanenburgerbaan van Schiphol.



Figuur 8 Het traject van de gemodelleerde secundaire kering

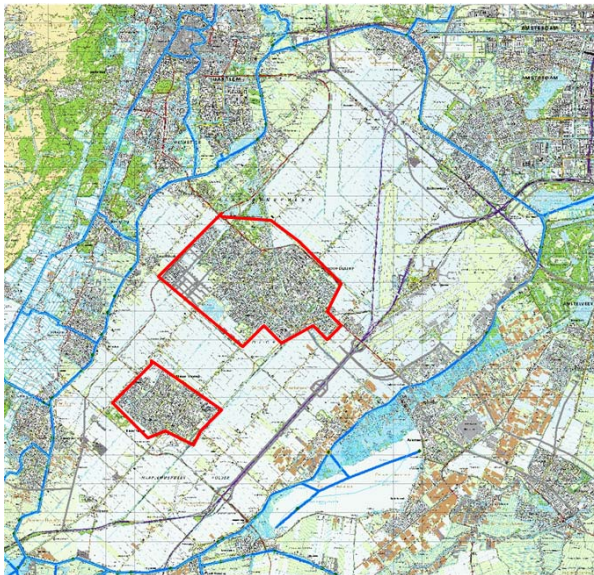
Resultaten

De resultaten van de modellering leveren zoals verwacht alleen voor doorbraak 4 en 42 een vermindering van de schade op. De totale vermindering van de schade m bedraagt € 446 miljoen (zie Tabel 2).

Tabel 2 Resultaten schade- en slachtofferberekening Secundaire kering

<i>Doorbraaklocatie</i>	<i>Schade (€ miljoen)</i>	<i>Vershil (€ miljoen)</i>	<i>Slachtoffers</i>	<i>Vershil</i>
1	236	0	13	0
4	219	312	8	4
32	499	0	2	0
42	110	134	2	12
Totaal	1.1 miljard	446	25	16

Gebiedscompartimentering met een secundaire kering is effectief gebleken voor het gebied ten zuiden van de Liniedijk. Dit levert een behoorlijke schade- en slachtofferreductie op. Het aanleggen van een secundaire kering is aantrekkelijk, omdat kan worden meegelift op de aanleg van nieuwe of de aanpassing van bestaande infrastructuur. Voor doorbraken ten noorden van de Liniedijk biedt het echter geen soelaas. De secundaire kering als geheel, dus ook ten noorden van de Liniedijk, kan alleen effectief zijn als het ruimtegebruik van bestaande functies wordt herverdeeld. Het verplaatsen van (een deel van) de woonfunctie van Zwanenburg (pro-actie) is echter zeer onwaarschijnlijk en dit valt buiten de scope van dit onderzoek.

**Figuur 9 Implementatie Maatregel waardebescherming in de HLM**

op deze locatie het compartiment Schiphol zal onderlopen. Waardebescherming werkt dan juist destructief. Verder is er voor gekozen om alleen de waarde van de huidige hoogwaardige vormen van landgebruik in het gebied te beschermen. De hoogte van de dijk die in het model is opgenomen bedraagt ongeveer 3 m. Deze hoogte is voor regionale dijkdoorbraken in de HLM ruim voldoende. De kosten voor een compartimenteringsdijk bedragen naar schatting meer dan € 1 miljoen per km (Geerse et al., 2007).

2.4.4. Waardebescherming

Voor de gebiedscompartimentering strategie waardebescherming zijn binnen de HLM verschillende varianten mogelijk. Er is voor gekozen om met de strategie waardebescherming de waarde van de twee grootste woonkernen te beschermen. Het aantal kilometer benodigde dijk bedraagt ongeveer 17 km voor Hoofddorp en 10 km voor Nieuw-Vennep (zie Figuur 9). Schiphol wordt hierbij niet beschermd. Hier is voor gekozen, omdat uit de analyse van de huidige situatie is gebleken dat eigenlijk alleen maar een doorbraak ten zuidoosten van Schiphol tot grote schade leidt. Het vormen van een Schiphol compartiment waar de boezemkade zelf deel van uit maakt zou gevaarlijk zijn, omdat bij een doorbraak

**Figuur 10 Aarden geluidswal rondom woonwijk in Hoofddorp (R. Sluiter)**

Het beschermen van de huidige vormen van landgebruik is om schade bij overstroming te verminderen vermoedelijk minder ingrijpend dan de variant waarbij de bestaande functies worden aangepast. Toekomstige hoogwaardige vormen van landgebruik kunnen gemakkelijker beschermd worden door overstromingsbestendige inrichtingen (zie Bijlage H).

Het beschermen van de huidige woonkernen is te combineren met al aanwezige taluds bijvoorbeeld in de vorm van aarden geluidswallen of –schermen die in beide woonkernen aanwezig zijn (zie Figuur 10). Waardebescherming voor hoogwaardige vormen van landgebruik die gebundeld gelegen zijn heeft de voorkeur. Hoe groter namelijk het beschermde gebied is, hoe groter de invloed van de bescherming op de waterstanden in het onbeschermd gebied. Dit werkt weer schadeverhogend, aangezien de schade afhangt van de maximale overstromingsdiepte (zie Bijlage E).

Als laatste moet vermeld worden dat waardebescherming alleen nut heeft wanneer ook de waterlopen, die de omkading doorsnijden, gecompartmenteerd worden. Om dit te bewerkstelligen kunnen duikers worden aangelegd, die de af- en aanvoer vanuit en naar het te beschermen gebied kunnen reguleren.

Resultaten

De resultaten van de waardebescherming laten een totale schadevermindering van € 551 miljoen zien. De invloed beperkt zich tot doorbraak 42 en 4. Voor doorbraken rond doorbraaklocatie 1 en 32 heeft de maatregel nauwelijks effect (zie Tabel 3). Meer in detail kan het daadwerkelijk benodigde traject van de waardebescherming worden beschouwd. Hier zal bij combinatie van de maatregelen tot een maatregelenpakket nog aandacht aan worden besteed. Betreffende het aantal slachtoffers is een vermindering van 41 zichtbaar. Dit heeft vooral te maken met het feit dat de waardebescherming van Nieuw-Vennep en Hoofddorp ook bescherming biedt aan een in de huidige situatie vrij slachtoffergevoelig gebied (met een hoog slachtofferrisico).

Tabel 3 Resultaten schade- en slachtofferberekening Waardebescherming

<i>Doorbraaklocatie</i>	<i>Schade (€ miljoen)</i>	<i>Vershil (€ miljoen)</i>	<i>Slachtoffers</i>	<i>Vershil</i>
1	233	3	11	2
4	158	373	3	9
32	499	0	2	0
42	69	175	1	13
Totaal	1.0 miljard	551	17	41

2.4.5. Retentiegebied

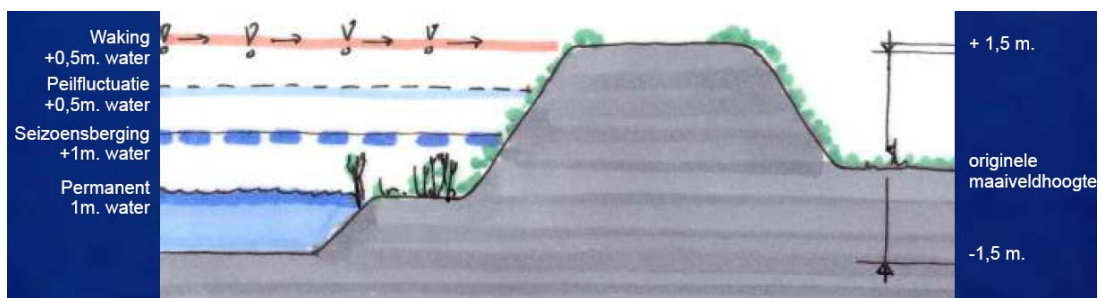
Het aanwijzen en inrichten van een noodoverloopgebied of retentiegebied kan uitkomst bieden bij calamiteiten of dreiging daarvan. Beide gebieden zijn (meestal) omdijkte gebieden die bij een teveel aan water gebruikt kunnen worden om water tijdelijk op te vangen. Het verschil tussen beide is dat retentiegebieden worden ingezet binnen de normen en dat noodoverloopgebieden pas worden ingezet als de maatgevende condities overschreden worden. In dit onderzoek gaat het steeds om een combinatie van beide. Voor het gemak wordt in dit rapport steeds gesproken van retentiegebied.

Waterberging in diepe polders met laagwaardige vormen van landgebruik kan een zinvolle optie zijn. Het water van een overstroming wordt in dat geval geleid naar (een deel van) een diepe polder, die al is aangewezen als retentiegebied. De polder kan tegelijkertijd tegen lokale wateroverlast gebruikt worden (in het kader van seizoensberging). Een retentiegebied kan ook worden ingezet als ontlastingsmaatregel om de kans op een doorbraak elders te verminderen.

In dit geval is het een preventieve maatregel. Een retentiegebied ten behoeve van vermindering van het overstromingsschade door een dijkdoorbraak is het meest effectief als de dijkdoorbraak relatief dicht bij het retentiegebied plaats vindt.

Het inrichten van een retentiegebied biedt veel kansen, maar kan in de HLM niet overal worden gerealiseerd. In de HLM geldt dat er geen grootschalige waterberging binnen het Vogelprotectiegebied rond Schiphol kan worden gerealiseerd (Consortium Bouwen met Water, 2007). Dit gebied is ingesteld om te voorkomen dat grote groepen vogels de veiligheid van de vliegbewegingen in gevaar brengen. Aanleg van kleinschalige retentie, met als voornaamste doel seizoen- en piekberging is in dat geval wel te overwegen, maar voor calamiteitenberging is dit minder geschikt, vanwege het beperkte oppervlak dat benut kan worden.

In de HLM is in 2015 een piekberging benodigd van 1 miljoen m³ en een seizoensberging van 2 miljoen m³. Verder is men voornemens om ongeveer 10 000 woningen toe te voegen aan het bestaande aantal woningen van 56 000 in de HLM (Consortium Bouwen met Water, 2007)(Gemeente HLM, 2008). Waterberging in combinatie met Bouwen met Water, een onderzoeksprogramma voor woningbouw met daarbij een grote rol voor water (zie Bijlage H), is in de HLM mogelijk, rekening houdend met de 20 Ke geluidscontour van Schiphol.



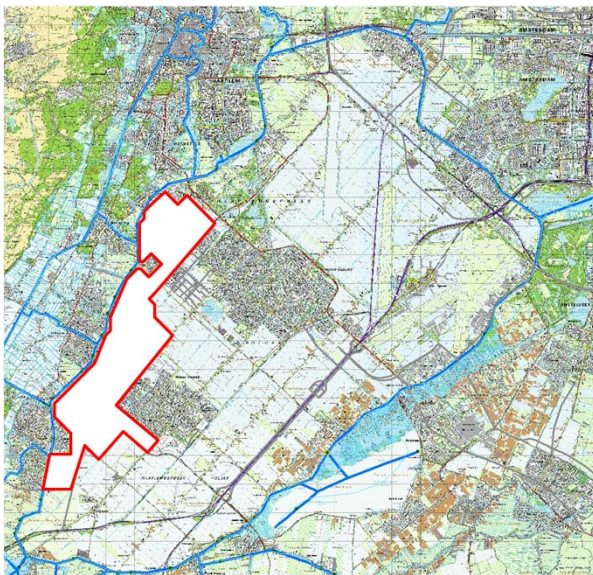
Figuur 11 Uitwerking Retentiegebied Bouwen met Water (Consortium Bouwen met Water, 2005)

Grootschalige inrichting van een deel van de HLM voor waterberging heeft de voorkeur, vanwege de schaalvoordelen, die dit met zich meebrengt. Vanwege bovenstaande redenen is Bouwen met Water alleen mogelijk in het zuidwestelijke deel van de HLM. Het gebied ten westen van Nieuw-Vennep en Hoofddorp is dan ook aangewezen als zoekgebied voor woningbouw (Nirov, 2008). Het Bouwen met Water programma omvat waterberging in combinatie met woonfunctie, waardoor

een hulpdijk rond het gebied noodzakelijk is (zie Figuur 11). Het maaiveld zal hierbij met 0.5 m verlaagd worden. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat het gebied tot 1.5 m onder maaiveld ontgraven zal worden en dat er permanent 1 m water in het gebied aanwezig zal zijn (Consortium Bouwen met Water, 2005). De invloed van bebouwing op het bergend vermogen is verwaarloosd. Verder is aangenomen dat er op het moment van doorbraak geen seizoen- en piekberging van water plaats vindt en er dus maximale berging plaats kan vinden.

Resultaten

Het retentiegebied is in Sobek gemodelleerd door het totale oppervlak



Figuur 12 Implementatie maatregel Retentiegebied binnen de HLM.

dat is aangewezen als zoekgebied met een 0.5 m te verlagen (zie Figuur 12). De dijken zijn niet in het hoogtemodel opgenomen. Er is aangenomen dat de waterlopen binnen het retentiegebied in directe verbinding staan met die in de polder.

De aanleg van het retentiegebied werkt alleen voor doorbraken in het zuidelijk deel van de HLM. Dit is het gevolg van de traagheid van het systeem in samenhang met de polderrgootte. Het gebied werkt vooral schadebeperkend voor doorbraak 42, maar ook voor doorbraak 4. De beperking van de totale schade bedraagt in totaal € 118 miljoen en beperkt het aantal slachtoffers met 10 (zie Tabel 4). Kijkende naar de overstromingsdieptes die in het retentiegebied bereikt worden kan geconcludeerd worden dat op basis van de gemodelleerde doorbraken niet alle delen van het retentiegebied even effectief zijn. Vooral ten noordwesten van Nieuw-Vennep en Hoofddorp wordt water geborgen. Uit modelberekeningen met doorbraken op meerdere locaties blijkt echter dat dit vooral aan de locatie van de gekozen doorbraken ligt (HL, 2008). Als andere doorbraaklocaties worden beschouwd blijkt dat ook de rest van het gebied effectief is.

Tabel 4 Resultaten schade- en slachtofferberekening Retentiegebied

<i>Doorbraaklocatie</i>	<i>Schade (€ miljoen)</i>	<i>Vershil (€ miljoen)</i>	<i>Slachtoffers</i>	<i>Vershil</i>
1	236	0	13	0
4	497	34	9	3
32	499	0	2	0
42	160	84	7	7
Totaal	1.4 miljard	118	31	10

De maatregel retentiegebied kan meeliften met bestaande plannen op het gebied van ruimtelijke ontwikkeling in de HLM. Het kan gemakkelijk worden geïmplementeerd als het Bouwen met Water programma uitgevoerd wordt. Wel moet er daarbij aandacht worden geschonken aan de toegankelijkheid van het gebied voor water dat van buiten het retentiegebied komt.

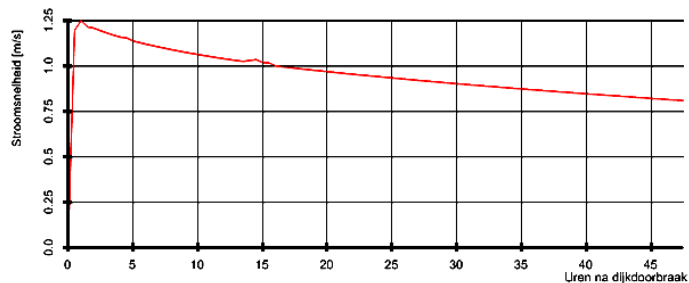
2.4.6. Boezemcompartimentering

Boezemcompartimentering is het beperken van de instroom van water vanuit de boezem. Om de instroom van water in de polder te stoppen, kan in sommige gevallen de bres gedicht worden. Het direct dichten van de bres is voor de omgeving van de calamiteit en het boezemsysteem de minst ingrijpende oplossing. Het uitvoeren van het dichten van een bres kan echter alleen onder de volgende condities plaats vinden (van Ketwich, 2007):

- De stroomsnelheid in de bres is laag, zodat materiaal dat dichting moet bewerkstelligen en de kade zelf niet kunnen wegspoelen
- De omgeving van de bres stabiel is, zodat geen gevaar bestaat voor aanwezig
- De afmeting van de bres is gering
- De bres is goed te bereiken met materieel

Dichten bij de bres

Bij de doorbraak te Wilnis lukte het om op betrekkelijk korte afstand van de bres te compartimenteren. In de directe nabijheid van de bres compartimenteren of de bres zelf dichten, zodat de uitstroom na afsluiting beperkt wordt, blijkt in de HLM-boezem min of meer onmogelijk te zijn. Sluiting is



Figuur 13 Ontwikkeling stroomsnelheid in bres bij doorbraak 42 (huidige situatie)

eigenlijk pas mogelijk bij stroomsnelheden kleiner dan 1 m/s, in de initiële situatie (HL, 2007a). Uit de resultaten uit het CIS blijkt dat de initiële stroomsnelheden bij de bres vaak groter zijn dan 1 m/s (zie Figuur 13). Dichten van de bres wordt in deze gevallen pas na langere tijd, in de figuur na 15 uur mogelijk. De grootste schade is op dit moment vaak al veroorzaakt. Om deze reden is dichting van de bres of compartimentering in de directe nabijheid van de bres in de HLM niet mogelijk en moet voor wat betreft boezemcompartimentering in de HLM naar locaties verder van de bres gezocht worden.

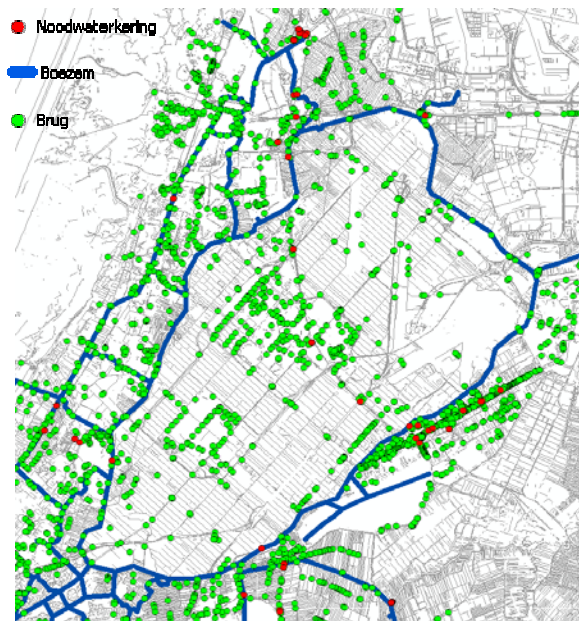
Het alternatief is om op grotere afstand van de bres de boezem te compartimenteren. Hier moet wel een afweging worden gemaakt. Hoe verder van de bres gecompartmenteerd wordt, hoe meer boezemwater er het gebied in kan stromen. In Tabel 5 zijn kengetallen weergegeven betreffende de mogelijke vormen van boezemcompartimentering. De mobilisatie- en sluitingstijd hangen af van de boezembreedte en het soort kering waarmee gecompartmenteerd wordt. In de HLM is boezemcompartimentering mogelijk met mobiele keringen of met noodwaterkeringen (BWO's). Hieronder worden beide mogelijkheden toegelicht.

Tabel 5 Mobilisatietijd en sluitingsduur boezemcompartimenteringswerken (HL, 2007b).

Breedte watergang	Mobilisatietijd (uur)	Sluitingstijd (uur)	Opmerkingen
BWO keringen en Rijndijk-sluizen.	3	4	De gemiddelde tijd uit rapportage Onderzoek Noodwaterkeringen Rijnland (N&S Consultants, 2007)
< 10 m	4	3	Tijdsduur afhankelijk van o.a. de inzet van de vrachtwagen, rijtijd depot
10 m – 20 m	4	6	
20 m - 30 m	4	12	
30 m - 40 m	4	20	boezemcompartimenteringslocatie, en hoeveelheid stortmateriaal

Mobiele keringen

Bij compartimenteren met mobiele keringen worden er in de boezem twee dammen aangebracht. Er wordt gecompartmenteerd als dichting van de bres onmogelijk is en compartimenteren het beste middel is om schade te minimaliseren. Dit betekent dat twee locaties gekozen worden die goed bereikbaar zijn voor het materieel dat gebruikt gaat worden. Bij de grotere boezemwateren zullen deze locaties in de meeste gevallen de dichtst bijzijnde bruggen ter weerszijde van de doorbraak zijn (van Ketwich, 2007). Deze locaties zijn weergegeven in Figuur 14. De dammen kunnen worden opgebouwd met stortsteenstenen of afgesloten bigbags gevuld met zand of kleine stenen (grind). Binnen het beheersgebied van Rijnland liggen op diverse plaatsen stortsteen en bigbags opgeslagen. De locaties zijn verspreid gekozen zodat materiaal snel ter plaatse kan zijn om een noodwaterkering te kunnen realiseren (N&S Consultants, 2004). Bepalend voor het slagen van de boezemcompartimentering is welke stroomsnelheden er tijdens de sluiting optreden. In de regel zal tijdens de sluiting de stroomsnelheid toenemen (doorstroomopening wordt kleiner en verval groter).



Figuur 14 Mogelijke compartimenteringlocaties in de HLM e.o.

Afsluitmiddelen moeten daarop afgestemd worden. Mogelijk kan een bodembescherming met filterdoek gebruikt worden om te voorkomen dat tijdens de sluiting bodemmateriaal wegschuurt. Voor het compartimenteren met mobiele keringen geldt dat de beschikbaarheid van de te gebruiken materialen bij een calamiteit gegarandeerd moet kunnen worden. Daartoe moeten bijvoorbeeld voorraden in stand gehouden worden en contracten met bedrijven worden aangegaan.

BWO's

In het kader van de Wet Bescherming Waterstaatswerken in Oorlogstijd zijn in Rijnlands boezemstelsel noodwaterkeringen (BWO) aangebracht. Deze maken het mogelijk om de boezem in 9 delen te compartimenteren (zie Figuur 15). Daarnaast zijn er de Rijndijksluizen in de zuidelijke oever van de Oude Rijn die ook als boezemcompartimenteringswerk gebruikt kunnen worden. Met een BWO kan de hoeveelheid instromend water beperkt worden. Vooral in die gevallen waar dichten bij de bres niet mogelijk is en er mogelijk een bereikbaarheidsprobleem of een tijdsprobleem aan de orde is, is de inzet van de noodwaterkeringen zeer kansrijk. Net als bij boezemcompartimentering met mobiele keringen moet bij het compartimenteren met behulp van de noodwaterkeringen rekening worden gehouden met de stabiliteit van de kades binnen het droogvallende compartiment. Noodwaterkeringen kunnen ook ingezet worden in combinatie met boezemcompartimentering bij de bres, als de stroomsnelheden voldoende zijn afgenomen. Op deze manier kan schade aan boezemkaden en omliggende boezemland, die ontstaat door het droogvallen van de boezem, verder beperkt worden. Bij de inzet van BWO keringen moet periodiek getest worden of de keringen nog steeds hun toebedeelde rol kunnen vervullen. De kosten van het in stand houden van de noodwaterkeringen voor Rijnland bedragen ongeveer € 250 000 per jaar, voor de HLM bedragen deze € 78 000 per jaar (N&S Consultants, 2004).



Figuur 15 Boezemcompartimentering in HLM met behulp van BWO's (N&S Consultants, 2004)

Sneller sluiten

Indien geen BWO voorhanden is kan worden getracht om een organisatorische verbetering door te voeren, waardoor mobiele keringen sneller kunnen worden gemobiliseerd en sneller kunnen worden gesloten. Hierdoor kan de uitstroom voorafgaand aan de totale afsluiting verminderd worden. Een waterbouwkundige maatregel met hetzelfde effect is het realiseren van een nieuwe BWO in de boezem. Ook hierdoor is men in de toekomst sneller in staat om boezemcompartimentering uit te voeren. Het effect van deze maatregel is voor het maatregelpakket voor Schiphol (zie Paragraaf 2.5) gemodelleerd.

Resultaten

Bij de boezemcompartimentering is het effect erg afhankelijk van de plaats waar de compartimentering kan worden uitgevoerd. Bovendien is de aard van de kering en de boezembreedte van invloed, evenals de aanwezigheid van oppervlaktewater in de nabijheid. Ondanks de aanwezigheid van de Westeinderplassen wordt de totale schade bij doorbraak 4 met boezemcompartimentering met ongeveer 30% verminderd. Dit is een zeer goede score voor een doorbraak die in directe verbinding met de Westeinderplassen staat. Voor de andere drie doorbraken, die niet in directe verbinding met een groot wateroppervlak staan, is de schadevermindering groter, tussen de 50 en 60% per doorbraak (zie Tabel 6).

Tabel 6 Resultaten schade- en slachtofferberekening Boezemcompartimentering

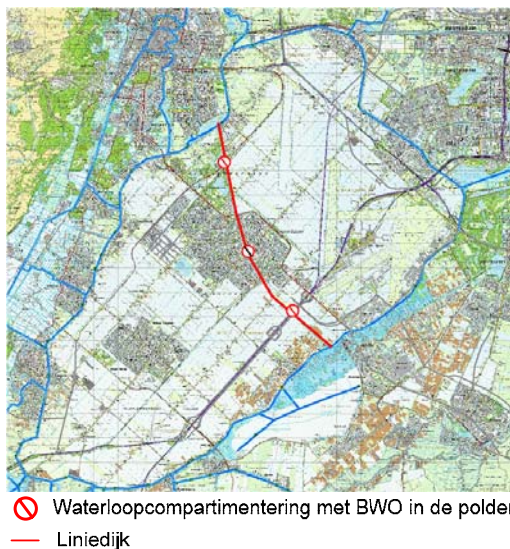
<i>Doorbraaklocatie</i>	<i>Schade (€ miljoen)</i>	<i>Verschil (€ miljoen)</i>	<i>Slachtoffers</i>	<i>Verschil</i>
1	146	90	11	2
4	354	177	5	7
32	403	96	0	2
42	157	87	9	5
Totaal	1.1 miljard	450	25	16

2.4.7. Waterloopcompartimentering in de polder

Binnen een polder is het mogelijk dat de waterlopen niet of nauwelijks onderbroken worden door stuwen, sluizen, overlaten of andere kunstwerken. In een dergelijk systeem kan een overstroming als gevolg van een dijkdoorbraak zich snel door de polder verspreiden. Naast deze waternverplaatsing zal het waterpeil in de waterlopen daarbij meestal ook stijgen. Als gevolg hiervan vinden op lokale schaal overstromingen plaats. Door te compartimenteren in de waterlopen in de polder, kan de verspreiding van de overstroming via de waterlopen worden tegengehouden of vertraagd. De acties die nodig zijn om de waterloopcompartimentering tot stand te brengen kunnen worden vastgelegd in een calamiteitenplan.



Figuur 16 Compartimenteringswerken (BWO's) in de Hoofdvaart, IJ-tocht en Slotertocht bij Hoofddorp (Stichting Militair Erfgoed Groot-Amsterdam, 2008)



Figuur 17 Implementatie Maatregel waterloopcompartimentering in de polder HLM

Binnen de HLM treedt het hierboven beschreven fenomeen ook op bij doorbraak van een boezemkade. Het speelt vooral een rol in de verplaatsing van de overstroming van noord naar zuid en andersom. In het verleden is het zuidelijke deel van de HLM in gebruik geweest als inundatiegebied voor de Stelling van Amsterdam. Om dit mogelijk te maken is destijds een dijk opgeworpen die de HLM van oost naar west doorsnijdt. Om te voorkomen dat er bij inundatie water vanuit de Hoofdvaart, IJ-tocht en Slotertocht richting het noordelijke deel van de HLM zou stromen, werden bij de kruising van deze watergangen met de Liniedijk BWO's opgenomen (zie Figuur 16). Deze sluizen maken onderdeel uit van de Stelling van Amsterdam, die op de werelderfgoedlijst van Unesco staan en hebben binnen Nederland de status van monument (Toerisme Noord-Holland, 2008). De bouwkundige status van de BWO's is op dit moment onbekend. Er wordt aangenomen dat de BWO's na renovatie weer kunnen functioneren als waterkering.

Wanneer een doorbraak ten zuiden van de Liniedijk plaatsvindt, kan het gebied ten noorden van de Liniedijk worden beschermd door de Liniedijk als compartimenteringsdijk in te zetten en andersom kan het zuiden worden beschermd tegen schade door een doorbraak ten noorden van de Liniedijk. Het inzetten van de Liniedijk als compartimenteringsdijk houdt in dat alle doorgangen in de Liniedijk (op tijd) worden gesloten. De belangrijkste doorgangen zijn die in de doorlopende watergangen (en de snelweg A4).

De drie BWO's die in de HLM aanwezig zijn, kunnen gebruikt worden als compartimenteringswerken voor de waterlopen in de polder. Samen met de Liniedijk vormen ze een compartimenteringskering die de HLM in twee gebieden opdeelt. Voor de verspreiding van de overstroming over maaiveld als gevolg van een boezemdoorbraak dient de Liniedijk geen groot doel. Wel blokkeert het de doorgang van een aantal lokale waterlopen. Drie hoofdwaterlopen in het gebied - Slotertocht, Hoofdvaart en IJtocht - lopen wel door de Liniedijk heen. Deze watergangen kunnen met een BWO worden gecompartmenteerd. Om het effect van sluiting van de BWO keringen te bepalen zijn modelberekeningen gedaan waarbij de BWO's alle drie dicht waren (zie Figuur 17).

Resultaten

Na modellering van de waterloopcompartimentering in de polder is gebleken dat alleen voor doorbraak 4 er een schadeverminderend effect bestaat. In de andere gevallen kunnen de drie waterlopen beter open dan dicht zijn. Bij het dichtzetten van de Slotertocht zal bij een doorbraak nabij locatie 4 aan de noordkant van de Liniedijk (Schiphol) geen schade ontstaan. De schadevermindering bedraagt dan € 210 miljoen. Het aantal slachtoffers neemt wel toe met 3 (zie Tabel 7). Vanwege de aanzienlijke schadevermindering lijkt het echter gerechtvaardigd om de maatregel te doen uitvoeren.

Wat verder uit de resultaten blijkt is dat voor doorbraak 4 het overgrote deel van de schadevermindering wordt veroorzaakt door de sluiting van de BWO in de Slotertocht. De andere twee BWO's hebben veel minder effect. Het opknappen en operationeel maken van de BWO in de Slotertocht zou dus de prioriteit moeten hebben. Naast het sluiten van de BWO in de Slotertocht blijkt dat de hoogteligging van de hiernaast gelegen A4 niet afdoende is om het water tegen te houden. Aanvullend op de waterloopcompartimentering van de Slotertocht moet ook de snelweg ter hoogte van de Liniedijk over de volledige breedte (ongeveer 50 m) afgesloten kunnen worden. De maximaal optredende waterstand bedraagt hier ongeveer 0.2 m.

Tabel 7 Resultaten schade- en slachtofferberekening Waterloopcompartimentering in de polder

<i>Doorbraaklocatie</i>	<i>Schade (€ miljoen)</i>	<i>Verschil (€ miljoen)</i>	<i>Slachtoffers</i>	<i>Verschil</i>
1	236	0	13	0
4	321	210	15	-3
32	499	0	2	0
42	244	0	14	0
Totaal	1.3 miljard	210	44	-3

2.4.8. Overstromingsbestendige inrichting

De schade als gevolg van een overstroming is voor een groot deel afhankelijk van de betreffende vormen van landgebruik. In de toekomst zal het landgebruik in de HLM aan veranderingen onderhevig zijn. Het is belangrijk dat een maatregel robuust is en rekening houdt met deze ontwikkelingen. In de toekomst zal een overgang van laagwaardige naar hoogwaardige vormen van landgebruik plaats vinden. Als er verder geen extra maatregelen worden genomen zal de potentiële overstromingsschade daardoor toenemen.

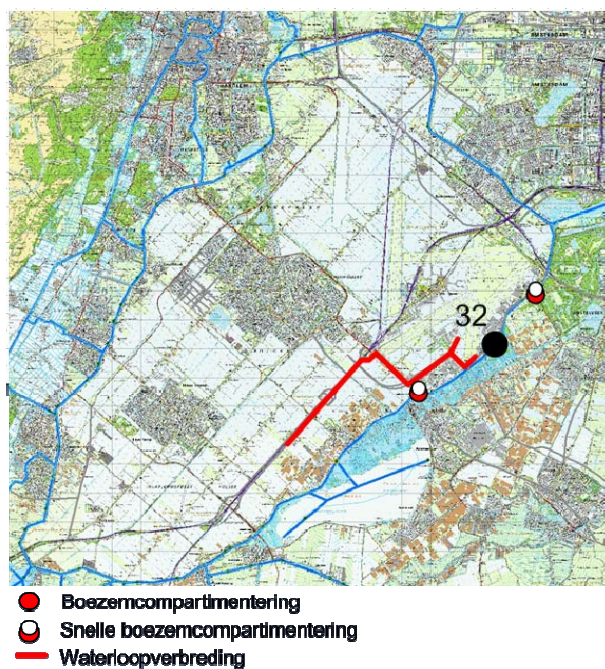
Om nieuwe functies minder schadegevoelig voor overstromingen te maken is het aanpassen van de nieuwe functies met behulp van verschillende beschikbare technieken een interessante

maatregel (zie Bijlage H). Gebruik van deze technieken kan goed worden gecombineerd met bijvoorbeeld de maatregel waardebescherming die de huidige gebruiksfuncties beschermt. Een voorbeeld van toekomstige overstromingsbestendige inrichting is de geplande woonwijk ten zuidwesten van Nieuw-Vennep, waarvoor een ontwerp is gemaakt met waterberging en huizen op terpen (consortium Bouwen met Water, 2007). De geplande bedrijventerreinen op een aantal locaties in de HLM zouden ook op een dergelijke manier kunnen worden ingericht. De maatregel kan ook uitkomst bieden bij gebieden die erg onderhevig zijn aan bodemdaling.

Het effect van het geheel of gedeeltelijk overstromingsbestendig ontwerpen van toekomstige functies in het gebied is dat de potentiële schade bij verdere gelijkblijvende omstandigheden niet verder of minder zal toenemen.

2.5. Maatwerk

Uit de analyse van de huidige situatie en de resultaten uit het CIS (HL, 2007a) is gebleken dat de luchthaven Schiphol eigenlijk alleen veel schade oploopt wanneer er een doorbraak optreedt vanuit de kering direct ten zuidoosten van Schiphol. De schade bij een dergelijke doorbraak is dan wel zeer groot (ongeveer € 500 miljoen). Bovendien is bij doorbraak 32 de schade per m² erg groot ten opzichte van de andere doorbraaklocaties. Het kan daarom kosteneffectief zijn om de zuidoost zijde van Schiphol met behulp van een aantal maatwerk oplossingen extra te beschermen tegen overstromingsschade als gevolg van de HLM-boezem. De effecten van de volgende maatregelen zijn in kaart gebracht en gecombineerd tot een speciaal maatregelenpakket voor Schiphol (zie Figuur 18):



Figuur 18 Locatie van de Maatwerk maatregelen te nemen ten behoeve van overstromingsveiligheid Schiphol.

- Snellere boezemcompartimentering van de Ringvaart door het klaar hebben staan van middelen om te compartimenteren. Of het plaatsen van een permanente kering, waardoor hetzelfde effect bereikt wordt.
- Water sturen naar het zuiden, met behulp van een verbrede waterloop. Het huidige doorstroomprofiel is hierbij vergroot waardoor de transport capaciteit verdubbeld is.

Bovenstaande maatregelen kunnen bijvoorbeeld gecombineerd worden met een maatregel die in dit onderzoek niet beschouwd is, namelijk de versterking van de boezemwaterkering ten oosten van Schiphol. Daarnaast dient het aanbeveling voor Schiphol om te investeren in calamiteitenplannen, welke voor wat betreft waterkwantiteit op dit moment ontbreken ().

Resultaten

Het resultaat van de modellering is een schadevermindering van € 288 miljoen. Deze vermindering wordt alleen bereikt bij doorbraak 32. Bij de andere doorbraken blijft de schade gelijk. Het aantal slachtoffers dat bij doorbraak 32 valt wordt naar 0 terug gebracht. De waterloopverbreding en de snellere boezemcompartimentering bij Schiphol is een effectief

middel gebleken om de schade voor doorbraak 32 te verminderen (zie Tabel 8). Het beschermen van Schiphol hangt verder ook samen met de maatregel Waterloopcompartimentering in de polder. Door ook deze maatregel te implementeren wordt Schiphol bij een doorbraak ten zuiden van de Liniedijk ontzien van overstroming en wordt de schade verder beperkt. Het uitvoeren van een apart maatregelenpakket dat hoofdzakelijk gericht is op de beperking van overstromingsschade aan de oostzijde van Schiphol lijkt gezien de mogelijke schadevermindering de moeite waard om verder te onderzoeken.

Tabel 8 Resultaten schade- en slachtofferberekening Maatregelenpakket Schiphol

<i>Doorbraaklocatie</i>	<i>Schade (€ miljoen)</i>	<i>Vershil (€ miljoen)</i>	<i>Slachtoffers</i>
1	236	0	13
4	531	0	12
32a verbreding	455	44	1
32b met boezemcompartimentering	403	96	0
32c verbreding en snelle boezemcomp	211	288	0
42	244	0	14
Totaal (incl. 32c)	1.2 miljard	288	39

2.6. Combinaties

De hierboven beschreven maatregelen kunnen bijna allemaal in combinatie met elkaar genomen worden. Wel zal er een keuze moeten worden gemaakt tussen de waardebescherming en de secundaire kering. De genoemde gebiedscompartimentering strategieën kunnen niet naast elkaar bestaan, dat zou een dubbele bescherming opleveren. Het is effectief gebleken om het huidige stedelijk gebied van Hoofddorp en Nieuw-Vennep te beschermen. De vraag is of toekomstige functies dusdanig kunnen worden aangepast, dat ze bij overstroming niet of nauwelijks schade oplopen. De secundaire kering biedt mogelijkheden voor uitbreiding van de woonkernen binnen deze kering, maar werkt in geval van overstromingen erg negatief voor geplande functies in het gebied tussen secundaire kering en de boezem in.

Beoordeling

De effectiviteit van een maatregel kan beoordeeld worden door het effect van de maatregel te vergelijken met de voor de uitvoering van de maatregel te maken kosten. Hiernaast kunnen criteria zoals haalbaarheid, fysieke uitvoering (in ruimte, tijd, capaciteit en kennis) en draagvlak een rol spelen. De effectiviteit van de maatregelen is in dit onderzoek niet gewaardeerd. Kosten tussen maatregelen onderling zijn namelijk niet met elkaar vergeleken. In dit onderzoek zijn de maatregelen alleen beoordeeld op schade- en slachtoffer vermindering en de veiligheid vanuit het primaire watersysteem (schade en slachtoffers). Voor een uitgebreidere beschrijving van de criteria, zie Bijlage H. Op basis van de resultaten van dit onderzoek kunnen besturende organen uiteindelijk zelf beslissen welke maatregelen worden uitgevoerd.

Maatregelenpakket

Bij het nemen van maatregelen is het ten eerste van belang om de instroom van water vanuit de boezem zoveel mogelijk te beperken. Bij een doorbraak gaat het in de HLM gemiddeld om een schadepost van € 370 miljoen. Met boezemcompartimentering kan deze schade - afhankelijk van de beschikbare vorm van compartimentering - met 30-80% verminderd worden. Op basis van eerder onderzoek kan geconstateerd worden dat boezemcompartimentering altijd wel enig nut heeft en dat het onderhouden van compartimenteringswerken voor wat betreft kosten en baten gerechtvaardigd is (N&S Consultants, 2007). Naast boezemcompartimentering kunnen afhankelijk van de situatie aanvullende maatregelen worden genomen om de gevolgen van een boezemdoorbraak te beperken. Het voorliggende onderzoek onderstreept

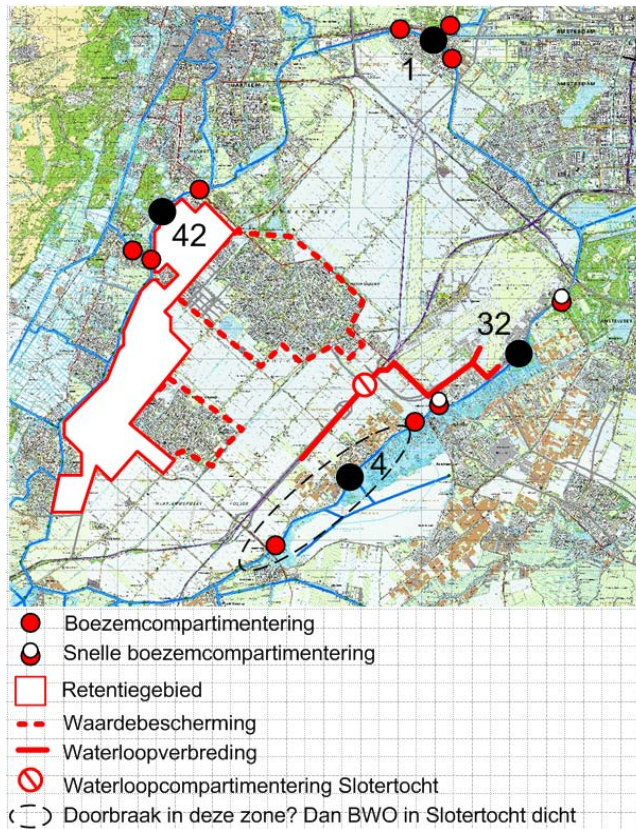
deze conclusie. Maatregelen die aanvullend op de boezemcompartimentering genomen worden moeten wel doordacht gekozen worden. Het is mogelijk dat het effect van de boezemcompartimentering het individuele effect van een andere maatregel teniet doet. Het maatregelenpakket is dan ook opgezet om te zien hoe de maatregelen in combinatie met elkaar de schadevermindering beïnvloeden.

Voor wat betreft de te kiezen strategie voor gebiedscompartimentering zijn er voor de HLM twee mogelijkheden; waardebescherming en de secundaire kering. Beide strategieën kunnen de overstromingsschade aanzienlijk beperken. De secundaire kering is een effectief middel als toekomstige ruimtelijke ontwikkelingen binnen de secundaire kering worden gerealiseerd. Tuinbouwbedrijven zijn buiten de secundaire kering gepland, maar als deze overstromingsbestendig gerealiseerd worden zal de schade in de toekomst verder niet toenemen. De infrastructuur die op de kering gelegen is, kan deel uit gaan maken van een netwerk van vluchtroutes. Het ontmoedigen van bestaande activiteiten in de buitenring zal echter vrij lastig zijn. Daarnaast blijft er relatief weinig ruimte over om het water te bergen, terwijl er in de huidige situatie een aantal locaties zijn waar het water via een natuurlijke weg geborgen kan worden (bijvoorbeeld ten zuiden van Nieuw-Venne). De mogelijkheden die het gebied biedt worden op deze manier niet optimaal benut. Verder geldt dat in combinatie met het retentiegebied er beperkingen zijn. De secundaire kering doorsnijdt het gebied van natuurlijke waterberging. Het verder aanpassen van het tracé van de secundaire kering zou het meeliften op de aanleg van infrastructurele elementen te niet doen. Bij waardebescherming wordt er vanuit gegaan dat toekomstige ontwikkelingen die buiten de waardebescherming vallen geen bescherming meer nodig hebben, omdat deze overstromingsbestendig ontworpen zijn. Deze strategie maakt optimaal gebruik van de mogelijkheden die de rest van het gebied biedt om water te bergen op plaatsen waar er relatief gezien nauwelijks schade ontstaat. Verder biedt de waardebescherming ruimte voor ernstigere overstromingen zoals geschetst in het EDO-scenario (zie Bijlage H). Bij de secundaire kering zullen in dit scenario zeer grote overstromingsdieptes ontstaan tussen de secundaire kering en de HLM-boezem in. Waardebescherming heeft daarnaast een groter effect voor wat betreft de schadevermindering. Betreffende de vermindering van het aantal slachtoffers scoort de maatregel waardebescherming ook het hoogste. Het aantal kilometer aan te leggen compartimenteringskering is in beide gevallen vrijwel gelijk.

Bovenstaande heeft er toe geleid dat de waardebescherming strategie verkozen is boven de strategie van de secundaire kering. Deze strategie kan worden gecombineerd met de andere hierboven genoemde kansrijk gebleken maatregelen. Dit resulteert in een maatregelen pakket voor de HLM (zie Figuur 19). De maatregelen voor Schiphol – het maatwerk – hebben slechts lokaal effect, waar de andere maatregelen effect hebben op vrijwel de gehele HLM (Tabel 9). Het hier voorgestelde maatregelenpakket is nadrukkelijk een voorbeeld van mogelijke kansrijke maatregelen die men binnen de HLM nemen kan. Afhankelijk van het nut en de noodzaak die bestuurders zien en bijvoorbeeld de beschikbare financiële middelen kan besloten worden op welke onderdelen men daadwerkelijk in gaat zetten.

Tabel 9 Maatregelenpakket met schadevermindering per afzonderlijke maatregel en toewijzing aan doorbraak(zone)

<i>Gemodelleerde maatregel</i>	<i>Schadevermindering (€ miljoen)</i>	<i>Invloed op doorbraak</i>
Waardebescherming	551	1, 4, 32, 42
Boezemcompartimentering	450	1, 4, 32, 42
Schiphol waterloop verbreding en snelle boezemcompartimentering	288	32
Waterloopcompartimentering in de polder	210	4
Retentiegebied west	118	4, 42
	1.6 miljard	



Figuur 19 Overzicht opgestelde maatregelenpakket HLM

is in Bijlage H terug te vinden.

In dit onderzoek is niet aangestuurd op de differentiatie van huidige normen binnen de HLM. Resultaat van het onderzoek is echter wel dat de schadevermindering niet overal gelijk is (zie Tabel 10 en Figuur 20). Inwoners van Zwanenburg worden ten opzichte van de huidige situatie minder tegemoet gekomen dan inwoners van Nieuw-Vennep en Hoofddorp, die totale bescherming krijgen. Daar tegenover staat overigens het feit dat de totale schade in de huidige situatie voor Hoofddorp en Nieuw-Vennep hoger is dan voor Zwanenburg. Het midden van de HLM wordt statistisch gezien ook vaker door overstromingen getroffen (HL, 2008). Van “nature” is het overstromingsrisico (kans*gevolg) dus ook al niet homogeen verdeeld over het gebied. Bovendien is de te leveren inspanning om bijvoorbeeld woonkernen die direct aan de boezem gelegen zijn met schadebeperkende maatregelen te beschermen veel groter dan voor kernen die centraler in de polder gelegen zijn. In dit soort situaties (bijvoorbeeld Zwanenburg) zou dan ook versterking van de boezemkade prioriteit moeten krijgen in plaats van naar de gevolgen te kijken. Het bestrijden van de gevolgen van een doorbraak is in dit soort situaties erg lastig. Daarnaast kan men in dit soort situaties nog proberen om het verloop van de boezemcompartimentering te verbeteren.

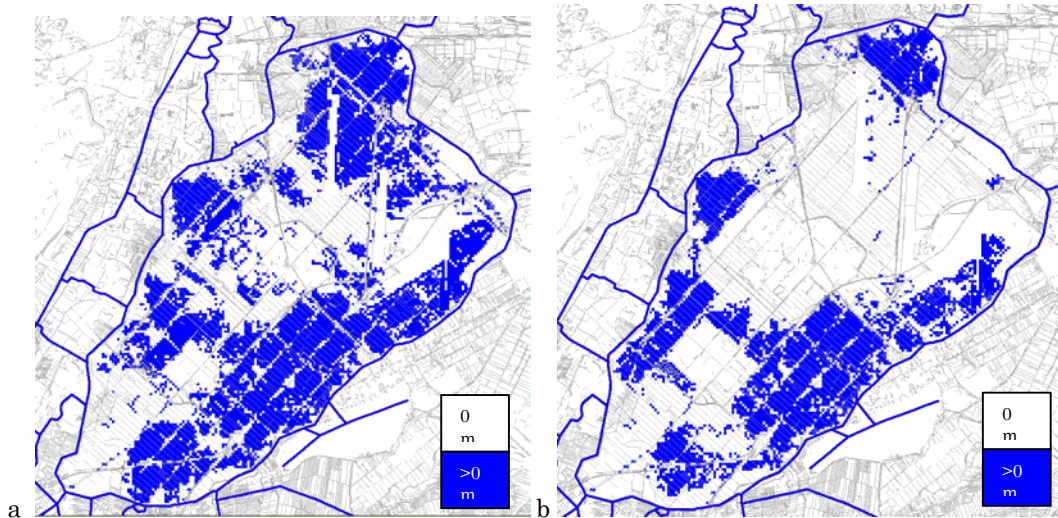
Tabel 10 Effecten Maatregelenpakket per doorbraak

<i>Doorbraaklocatie</i>	<i>Schade (€ miljoen)</i>	<i>Vershil (€ miljoen)</i>	<i>Vershil (%)</i>	<i>Slachtoffers (aantal)</i>	<i>Vershil (aantal)</i>
1	146	90	38	11	2
4	103	428	81	2	10
32	100	400	80	0	2
42	16	228	93	0	14
Totaal	0.37 miljard	1.1 miljard	76	13	28

Resultaten

De schadevermindering van de ene maatregel is van invloed op de schadevermindering van de andere. Na combinatie van de maatregelen ligt de totale schadevermindering dan ook wat lager, dan op grond van het afzonderlijke effect van de maatregelen verwacht zou kunnen worden (vergelijk Tabel 9 met Tabel 10). Het totale verschil in schadevermindering bedraagt ongeveer 30%.

De schadevermindering verschilt per doorbraaklocatie. De minste relatieve schadevermindering vindt plaats bij doorbraak 1. Dit is een goed voorbeeld van hoe lastig het is om stedelijk gebied dat direct aan de boezem gelegen is betere bescherming tegen regionale dijkdoorbraken te bieden. Het is aan de bestuurders van het waterschap om te beoordelen of het rechtschapen is om een dergelijk maatregelenpakket te nemen. Een korte toelichting op de resultaten



Figuur 20 Overstromingsbeeld a) Huidige Situatie en b) bij uitvoering van het Maatregelenpakket

Gevoeligheid

In de gevoeligheidsanalyse is onderzocht wat de invloed is geweest van bepaalde aannames en de keuze van bepaalde modelparameters op de resultaten van het onderzoek. Een aantal gevoeligheden uit het Sobek- en schademodel zijn onderzocht. Dit is aanvullend op testberekeningen die eerder met het Sobek-model werden uitgevoerd voor het CIS, waarbij bijvoorbeeld werd gekeken naar de invloed van de bodemruwheid, gridgrootte en de keuze tussen 1D of 2D modellering van de waterlopen (HL, 2006). Achtereenvolgens zijn gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd voor:

- Traject waardebescherming
- Hoogte aangenomen boezempeil
- Modellering van het oppervlaktewater
- Wijze van 2D modellering van de waterlopen in de polder
- Invloed vormen van toekomstig landgebruik
- Locatie van doorbraaklocaties en het aantal doorbraaklocaties

Een aantal parameters is zeer gevoelig gebleken. Dit betreft vooral de gemodelleerde initiële waterstand van de boezem in combinatie met de drempel van de bres. Voor de huidige situatie betekent dit dat de berekende schadebedragen echt een bovengrens vormen. Bij een lagere boezemwaterstand zal de schade in het gebied sterk minder zijn. Bij een mogelijk hoger boezempeil in de toekomst (bijvoorbeeld in verband met zeespiegelstijging) moet rekening worden gehouden met sterke stijging van het schadepotentieel. Ook door toekomstige veranderingen in het bodemgebruik zal de potentiële schade in de HLM toenemen.

De 2D modellering van de hoofdwaterlopen in de polder is een compromis tussen de berging in de waterlopen en de hydraulische capaciteit van de waterlopen. De grootte van de correctie van het AHN ten opzichte van het streefpeil blijkt niet erg gevoelig te zijn. Bij een grotere correctie lijkt het bergend vermogen meer invloed op de berekende schade te hebben dan de hydraulische capaciteit.

Als laatste kan geconcludeerd worden dat de verschillen in schadevermindering bij uitvoering van het maatregelenpakket tussen de gesommeerde overstromingsbeelden voor 4 en 14 doorbraken voor de HLM niet heel erg groot te noemen zijn. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de geselecteerde 4 doorbraken, mits verantwoord gekozen, een representatief beeld schetsen.

De volledige gevoeligheidsanalyse is terug te vinden in Bijlage H.

3. Leidraad

3.1. Inleiding

In het vorige hoofdstuk werden aan de hand van een case beschrijving concrete maatregelen geselecteerd die men in de HLM kan nemen om overstromingsschade na doorbraak van regionale waterkeringen te beperken. Aan de hand van het voorgaande praktijkonderzoek voor de HLM zijn generieke statements opgesteld die samen de leidraad voor de beperking van overstromingsschade na doorbraak van regionale keringen vormen. De leidraad is vervolgens toegepast in een ander gebied, Gouda/Boskoop (GB). Op basis van de toepassing werden een aantal verschillen en overeenkomsten met de case HLM geconstateerd. Op een aantal punten is de leidraad daarom waar nodig aangevuld en aangepast. De uiteindelijke versie van de leidraad is in dit hoofdstuk terug te vinden. De toepassing van de leidraad in het gebied GB en de evaluatie daarvan is terug te vinden in Bijlage I.

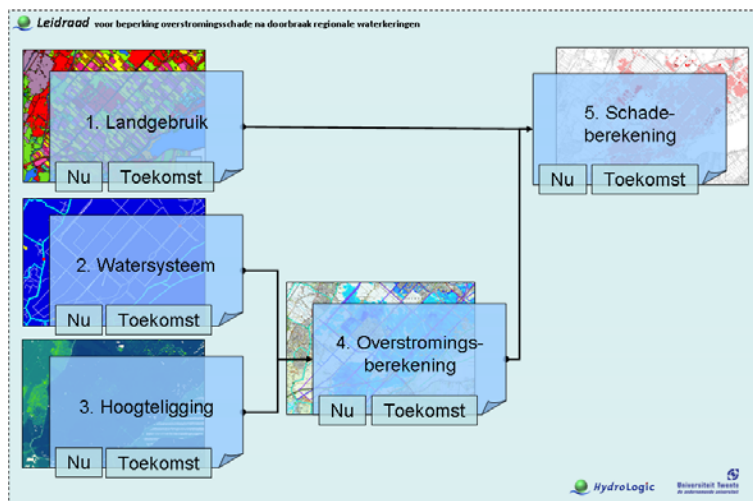
Na de doelstelling worden in Paragraaf 3.3 eerst de verschillende onderdelen van de leidraad besproken. Daarna komt de leidraad zelf, waarin voor elke maatregel die in het voorliggende onderzoek is onderzocht de kansen en bedreigingen in relatie met de beschikbare gebiedsgegevens aan bod komen.

3.2. Doelstelling

Het doel van het onderzoek is het ontwikkelen en toepassen van een leidraad waarmee een pakket van kansrijke schadebeperkende maatregelen kunnen worden geselecteerd. Doel van de leidraad is om een voorselectie te maken van veelbelovende maatregelen uit het brede scala van maatregelen dat beschikbaar is. Na het maken van een voorselectie zijn dan nog slechts een aantal maatregelen over, die vervolgens verder uitgewerkt (bijvoorbeeld gemodelleerd) kunnen worden. Door de voorselectie kan het aantal simulaties aanzienlijk beperkt worden. Uitgangspunt van de leidraad is het beperken van overstromingsschade binnen een polder als gevolg van doorbraak van regionale keringen met behulp van fysieke gevolgbeperkende maatregelen. Naast de voorselectie van maatregelen is het bundelen van de beschikbare kennis op het gebied van regionaal waterkeringen beheer een belangrijk neven doel van de leidraad.

3.3. Opbouw

De leidraad stelt per maatregel vragen aan de gebruiker, die deze met behulp van gegevens over landgebruik, watersysteem, hoogteligging, overstroming- en schadeberekening kan beantwoorden (zie Figuur 22). De genoemde gegevens kunnen gebruikt worden om de kansrijkheid van bepaalde schadebeperkende maatregelen te bepalen. Hierbij biedt een schadeberekening de meeste informatie. In een



Figuur 21 Samenhang tussen onderdelen Leidraad schadebeperking

schadeberekening zijn in feite ook alle andere onderdelen opgenomen. In dit onderzoek wordt er vanuit gegaan dat alle 5 onderdelen beschikbaar zijn. In geval er geen overstromings- en schadeberekening beschikbaar is kan de leidraad ook op basis van gegevens over landgebruik, watersysteem en hoogteligging worden doorlopen. Het wordt echter aanbevolen om altijd een overstromingsberekening voor het betreffende gebied uit te voeren. Het is verder belangrijk dat de gebiedsgegevens actueel zijn. Als gegevens over de verwachte toekomstige situatie beschikbaar zijn kunnen deze - aanvullend op de huidige situatie - ook gebruikt worden. De onderlinge samenhang tussen de verschillende onderdelen van de leidraad is weergegeven in Figuur 21.

Hieronder worden de verschillende onderdelen die in deze leidraad aan de orde komen kort toegelicht. Elk onderdeel van de leidraad wordt geïllustreerd aan de hand van gegevens vanuit de case HLM.

1. Landgebruik

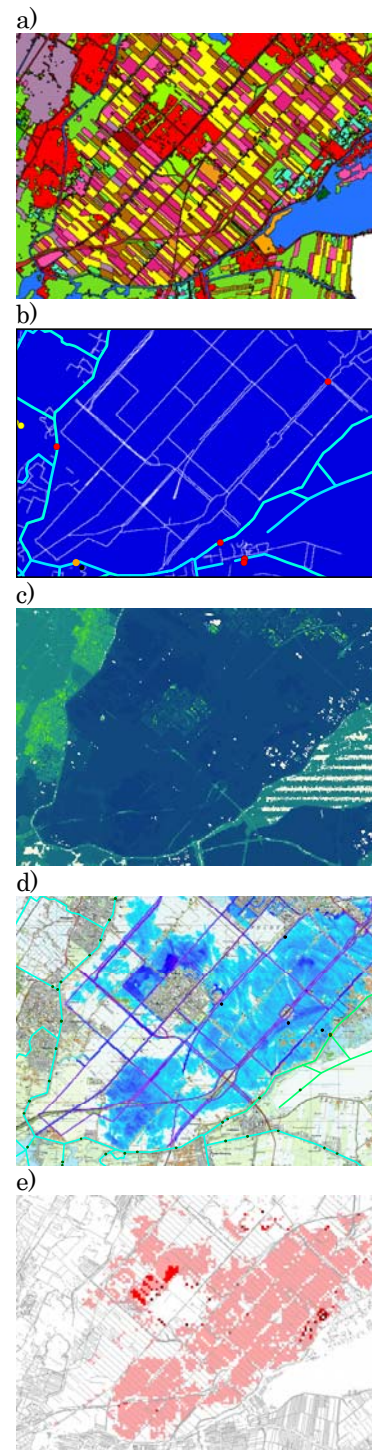
Het landgebruik is een maat voor de potentiële schade. De schade die maximaal kan optreden in geval er een overstroming plaats vindt wordt door het landgebruik bepaald. Op basis van het landgebruik kan dan ook de schade worden geschat als ervan uit wordt gegaan dat het betreffende gebied overstroomd raakt. Met daarbij ook gegevens over het toekomstig landgebruik kan worden geschat of de potentiële schade in de toekomst zal toe- of afnemen.

In de HLM is een mix van hoog- en laagwaardige vormen van landgebruik aanwezig. De belangrijkste concentraties bevinden zich in de kernen Nieuw-Vennep en Hoofddorp en Schiphol. Daarnaast zijn enkele schadegevoelige kassengebieden in het gebied aanwezig.

2. Watersysteem

De karakteristieken van het watersysteem binnen en rondom de polder kunnen informatie geven over de wijze en snelheid van verspreiding van een overstroming over het gebied. De waterlopen in het gebied kunnen daarbij een belangrijke rol spelen. De afmeting van de boezem kan bepalend zijn voor de toestroom van water naar de bres. Toekomstige ontwikkelingen in het gebied kunnen zorgen voor een verandering van het watersysteem, bijvoorbeeld het areaal aan oppervlaktewater, waarop water kan worden geborgen. Dit kan het functioneren van het poldersysteem in de toekomst beïnvloeden.

Het ongestuwde watersysteem van de HLM kan in een noordelijk en zuidelijk deel worden gescheiden met behulp van de drie BWO's. Van noord naar zuid zijn drie brede hoofdwaterlopen te onderscheiden. Daartussen bevinden zich een aantal dwarsvaarten. Afgezien van het hoofdwaterlopenstelsel is er nauwelijks oppervlaktewater in



Figuur 22 De verschillende gebiedsgegevens op basis waarvan de leidraad is vormgegeven a) Landgebruik (Alterra, 2004) b) Watersysteem c) Hoogteligging (Data-ICT-Dienst RWS, 2008) d) Overstromingsberekening en e) Schadeberekening

het gebied aanwezig.

3. Hoogteligging

Bij het analyseren van de hoogteligging van de polder kunnen bijvoorbeeld kwetsbare laag gelegen locaties worden aangewezen. Naar verwachting zal het water hier na een doorbraak het eerst heen stromen. Verder geeft de hoogteligging inzicht in de snelheid waarmee een polder kan volstromen. Het verschil tussen boezempeil en de hoogteligging van de polder is hiervoor een maat. Ook de hoogteverschillen binnen de polder zijn van invloed op de stroomsnelheden van een overstroming. Voor wat betreft de toekomstige situatie is bij polders in West-Nederland vooral de bodemdaling als gevolg van inklinking van veengronden van belang. In Noord-Nederland kan ook de bodemdaling als gevolg van gaswinning nog een rol spelen (NAM, 2005). Bodemdaling kan het overstromingsverloop beïnvloeden, waardoor de overstromingsschade in een polder zowel toe als af kan nemen.

De HLM ligt op een diepte van gemiddeld 4.5 m – NAP. De polder vertoont vrij weinig hoogteverschillen. In de HLM is nauwelijks bodemdaling waarneembaar. Delen van de woonkernen Hoofddorp en Nieuw-Vennep zijn wat hoger gelegen dan het landelijk gebied daaromheen.

4. Overstromingsberekening

Als voor een projectgebied één of meerdere overstromingsberekeningen beschikbaar zijn kan hiermee wat worden gezegd over het mogelijk effect van bepaalde maatregelen. In een overstromingsberekening zijn de onderdelen 2. Watersysteem en 3. Hoogteligging inbegrepen. Het is van belang dat de overstromingsberekeningen een representatief beeld schetsen van de mogelijke overstromingen in een polder. De gekozen doorbraaklocatie(s) zijn daarbij onder andere van belang. Een methode voor het selecteren van doorbraakscenario's is te vinden in de Richtlijn Normering Compartimenteringskeringen (Geerse et al., 2007).

Bij voorkeur zijn overstromingsberekeningen als gevolg van regionale dijkdoorbraken voorhanden. Overstromingsscenario's vanuit het primaire watersysteem (bijvoorbeeld EDO's) kunnen ook bij de analyse gebruikt worden, maar deze bieden meestal slechts een grof beeld. Als meerdere overstromingsscenario's beschikbaar zijn, kan een overstromingsfrequentie kaart (zie Figuur 74) worden samengesteld die, gegeven een aantal doorbraken, weergeeft in hoeveel van de gevallen een bepaalde cel overstroomd (overstromingsgevoeligheid). De hoogteligging vormt onder andere de input voor een overstromingsberekening. Er kan ook een overstromingsberekening gemaakt worden op basis van een AHN waarin de toekomstige bodemdaling is opgenomen. Op deze manier is inzichtelijk te maken hoe overstromingspatronen zullen veranderen, als er verder geen maatregelen getroffen worden.

Overstromingsberekeningen die voor de HLM zijn uitgevoerd laten zien dat bij een doorbraak van de boezem een beperkt deel van de polder te maken krijgt met overstromingen. Er wordt een aanzienlijke hoeveelheid water geborgen in de waterlopen. Daarnaast wordt het water vanwege het ongestuwde systeem over relatief grote afstanden door de waterlopen getransporteerd.

5. Schadeberekening

Na het uitvoeren van een overstromingsberekening kan per scenario worden bepaald hoe groot de schade is die optreedt in de huidige situatie. Dit kan worden bepaald met een schademodel. Door de schadeberekeningen te combineren kan de totale schade per gridcel bepaald worden. Op deze manier zijn gebieden op te sporen die gevoelig zijn voor overstromingsschade. Zo kan onderscheid worden gemaakt tussen gebieden die vaak overstroomden, maar weinig schade veroorzaken en gebieden die nauwelijks overstroomden, maar dan wel meteen grote schade opleveren. Als overstromingsberekeningen beschikbaar zijn voor zowel de huidige als toekomstige situatie zijn voor beide situaties ook schadeberekeningen uit te voeren. In de schadeberekening zijn de gegevens van onderdeel 1. tot en met 4. inbegrepen.

De schade in de HLM bedraagt gemiddeld een paar honderd miljoen per doorbraak. De schade concentreert zich nabij Schiphol en in de woonkernen Nieuw-Vennep en Hoofddorp. De drie grootste schadeposten zijn schade aan stedelijk gebied, eengezinswoningen en industrie. Schade aan vastgoed is in het HIS SSM een aparte schadecategorie (zie Bijlage E).

3.4. Maatregelen

In deze paragraaf is de opgestelde leidraad weergegeven. De bruikbaarheid van deze leidraad is getoetst op het gebied GB. De aanpassingen en aanvullingen van de leidraad naar aanleiding van de case GB zijn in deze paragraaf al verwerkt. In de leidraad worden de maatregelen niet direct onderling met elkaar vergeleken. Met een scorelijst is een inschatting te maken van de mogelijkheden die een afzonderlijke maatregel voor een bepaald gebied kan bieden. Na de voorselectie kan de gebruiker zelf met behulp van keuzecriteria een keuze maken voor nadere uitwerking van één of meerdere maatregelen.

3.4.1. Gebiedscompartimentering (algemeen)

1. Landgebruik

Vlakdekkend landgebruik

Als uitgangspunt voor het implementeren van een bepaalde strategie voor gebiedscompartimentering wordt ervoor gekozen om alleen landgebruik te beschermen met een hoogwaardig karakter. Aangenomen wordt dat het investeren in compartimenteringskeringen ten behoeve van de bescherming van laagwaardige vormen van landgebruik geen kosteneffectieve maatregel is.

Lijnelementen

Het landgebruik bepaalt de potentiële schade indien een gebied overstroomd raakt. Lijnelementen zijn lijnvormige infrastructuur, zoals vaar-, spoor- en snelwegen en geluidswallen en kunnen beschadigd raken als gevolg van een overstroming. Ze kunnen echter ook kansen bieden voor de uitvoering van compartimenteringsmaatregelen. Gebiedscompartimentering is een kostbare maatregel als bestaande keringen en taluds nog niet aanwezig zijn. Het meeliften op de aanleg van lijnelementen biedt koppelkansen. In verband met gebiedscompartimentering kunnen drie typen lijnelementen onderscheiden worden.

- a) Lijnelementen die op maaiveld gelegen zijn, kunnen alsnog verhoogd worden aangelegd, bijvoorbeeld bij groot onderhoud of herstructurering van de infrastructuur.
- b) Lijnelementen die al hooggelegen zijn, bijvoorbeeld zandlichamen van spoor- en/of autowegen en geluidswallen, zullen in de huidige situatie een overstroming vertragen, maar zijn over het algemeen niet waterkerend.
- c) Dijklichamen (kades) langs waterlopen, oude geniedijken en andere al waterkerende constructies.

Deze elementen kunnen van a) naar c) met veel tot weinig inspanning (onder andere kosten) een overstroming vertragen of tegen houden en kunnen gebruikt worden bij de totstandkoming van compartimenten. Dezelfde lijnelementen kunnen bij verhoogde aanleg ook functioneel worden als hoogwatervrije evacuatie routes ten behoeve van primaire overstroming. Bij het kiezen van de compartimenteringswerken zal altijd een afweging worden gemaakt tussen optimalisatie van het effect van compartimenten en de aanlegkosten. Het gebruik van een al bestaand verhoogd traject is meestal goedkoper dan de aanleg van een geheel nieuw traject.

Toekomstig landgebruik

Bij het kiezen van een compartimenteringsstrategie is het verstandig om rekening te houden met te verwachten toekomstige ontwikkelingen in het landgebruik. Als er de verwachting bestaat dat er nieuwe vormen van hoogwaardig landgebruik in een gebied zullen bijkomen,

kunnen deze vooruitlopend op de realisatie al beschermd worden met compartimenteringswerken. Dit om aanpassing van compartimenteringskades achteraf te voorkomen. Er kan ook voor gekozen worden om voor toekomstige vormen van landgebruik andere maatregelen in te zetten om schade te voorkomen (zie 3.4.8 Overstromingsbestendige inrichting).

Nieuwe vormen van lijnelementen kunnen bewust hoger en waterkerend worden aangelegd, zodat zij een deel van een gebiedscompartimentering kunnen gaan vormen. Om een beeld te krijgen van toekomstige lijnelementen is De Nieuwe Kaart van Nederland een handig instrument (Nirov, 2008). Als al het plan bestaat om vanwege andere redenen bepaalde elementen verhoogd aan te leggen, dan biedt dit extra kansen voor gebiedscompartimentering.

2. Watersysteem

Het nadeel van compartimenteren is dat ook alle watergangen die de compartimenteringskering doorkruisen afsluitbaar moeten worden gemaakt. Afvoerbeperkende maatregelen, zoals de aanleg van duikers kunnen daarbij bijvoorbeeld worden ingezet. In relatief vlakke polders, zoals de HLM, vindt de overstroming in stedelijk gebied meestal vanuit één van de hoofdwaterlopen plaats. De afstand die het water over maaiveld aflegt is niet zo groot.

3. Hoogteligging

Als er sprake is van grote hoogteverschillen in het gebied, dan kan bij een doorbraak op een hoger gelegen deelgebied het water zich snel naar een laag gelegen deelgebied verplaatsen. Als bescherming van de lager gelegen gebieden gewenst is, kan het nuttig zijn om met behulp van compartimenteringswerken dit deelgebied te beschermen. Sturen van het water met behulp van compartimenteringswerken is dan mogelijk. Als het gebied vrij vlak is is het lastiger om het water echt te sturen. Maatregelen zouden er dan vooral op gericht moeten zijn om het water, voordat het grote schade kan veroorzaken, tegen te houden met compartimenteringskeringen.

4. Overstromingsberekening

Compartimenteringskeringen kunnen het aantal slachtoffers vergroten, aangezien de overstromingsdiepte in sommige gebieden groter kan worden dan in de uitgangssituatie. Er moet dan ook voldoende ruimte overblijven voor het water na een doorbraak om overstromingsdieptes groter dan 1.5 m te voorkomen. Slachtoffers vallen vanaf 1.5 m waterhoogte (Groot Zwaartink et al., 2007). Als met de aanleg van een lage compartimenteringskering het effect van de gebiedscompartimentering verminderd wordt, omdat het water gemakkelijk over de compartimenteringskering stroomt, kan er voor gekozen worden om toch overstromingsdieptes boven de 1.5 m te accepteren. De maatregel zou dan samen moeten gaan met het aanpassen van het landgebruik in de zone tussen de boezemkade en de secundaire kering in. Op deze manier kan een toename van de schade en het aantal slachtoffers als gevolg van gebiedscompartimentering worden voorkomen en heeft de maatregel wel positieve effecten.

5. Schadeberekening

Uit de schadeberekening kan voor de beschouwde doorbraken worden bepaald hoe de schade over de verschillende schadecategorieën verdeeld is. Op grond hiervan kan worden geanalyseerd waar het het meeste nut heeft om bescherming van bepaalde vormen van landgebruik met gebiedscompartimentering uit te voeren. Daarnaast kan de ruimtelijke spreiding van de schade in beeld worden gebracht. Schadegevoelige locaties worden hiermee zichtbaar. Ook het aantal slachtoffers in de huidige situatie en slachtoffergevoelige locaties kunnen worden gevonden.

Als de schade aan infrastructuur een groot deel uitmaakt van de totale schade dan pleit dit voor het verhoogd aanleggen van infrastructuur, bijvoorbeeld bij het realiseren van nieuwe infrastructuur en/of onderhoud van bestaande infrastructuur. Het verminderen van grote

schade aan infrastructuur is dan te combineren met een compartimenteringsstrategie en tevens met de realisatie van overstromingsvrije evacuatie routes. In Tabel 11 is de schade voor een aantal soorten infrastructuur weergegeven. Hieruit kan worden opgemaakt dat voor wat betreft het terugdringen van de potentiële overstromingsschade het beste kan worden gekozen voor het verhogen en/of waterkerend maken van spoorwegen (indien aanwezig).

Tabel 11 Schade als gevolg van overstroming infrastructurele lijnelementen (Dijkman en Groot Zwaartink, 2007)

<i>Schadecategorie</i>	<i>Maximaal schadebedrag (€ per m')</i>
Spoorwegen direct	25 150
Rijkswegen direct	1 450
Autowegen direct	980
Overige wegen direct	270
Spoorwegen bedrijfsuitval	151

3.4.2. Partitie strategie

1. Landgebruik

Als het hoogwaardige vlakdekkende landgebruik vrij homogeen verdeeld is, is gebiedscompartimentering met de partitie strategie geschikter dan de strategie waardebescherming (Oost en Hoekstra, 2007). Het gebied wordt hiermee opgedeeld in min of meer gelijkwaardige partities. Een bijzondere vorm van de partitie strategie is de compartimentering van waterlopen in de polder. Deze wordt als aparte maatregel toegelicht. In de meeste gevallen in Nederland is het landgebruik niet homogeen verdeeld.

3.4.3. Secundaire kering

1. Landgebruik

Voor polders is de secundaire kering bij meer centraal gelegen ligging van de hoogwaardige gebruiksvormen vooral interessant. In de meeste gevallen wordt een polder vanuit alle windrichtingen bedreigd door het risico van kadedoorbraken. Het is niet erg wenselijk om bestaande vormen van hoogwaardig landgebruik tussen de secundaire kering en de boezem in te krijgen. De strategie van de secundaire kering kan bij zowel homogeen als heterogene verdeling van het landgebruik uitkomst bieden (Oost en Hoekstra, 2007). Bij deze strategie moet goed worden gekeken naar de (geplande) locaties van de hoogwaardige vormen van landgebruik.

3.4.4. Waardebescherming

1. Landgebruik

Bij een meer heterogene verspreiding van hoogwaardige vormen van het huidige landgebruik heeft het zin om deze extra te beschermen (waardebescherming). Dit kan op kleine schaal (perceelniveau), maar ook op grotere schaal (dorpskern). Waardebescherming door middel van omkaden is bij bestaande vormen van landgebruik in principe minder ingrijpend dan het introduceren van overstromingsbestendige technieken (drijvend, amfibisch bijvoorbeeld).

Samenvatting gebiedscompartimentering

Hieronder is in Tabel 12 de tekstuele beschrijving samengevat met behulp van een tabel gevuld met vragen. De belangrijkste vragen die de gebruiker aan zichzelf kan stellen voor de maatregel gebiedscompartimentering zijn hierin weergegeven. Van boven naar beneden neemt het belang van de vraag af. Verder geldt dat hoe meer vragen met “ja” beantwoord kunnen worden, hoe groter de geschiktheid van de maatregel voor het betreffende gebied is. Tussen

haakjes is bij elke vraag weergegeven in welk onderdeel van de leidraad de gegevens zijn terug te vinden. Vragen kunnen onderlinge relaties hebben, maar om een strikte “1+1=2”-beoordeling te voorkomen zijn deze hier niet weergegeven.

Tabel 12 Beoordeling maatregel Gebiedscompartimentering

<i>Belang</i>	<i>Vraag</i>	<i>Antwoord</i>
Groot 	Zijn er hoogwaardige vormen van landgebruik aanwezig of gepland (1)? Zijn de hoogwaardige vormen van landgebruik gevoelig voor overstromingen (1,4)? Zijn er hoog gelegen waterkerende elementen aanwezig of gepland (2,3)? Zijn er hoog gelegen infrastructurele elementen aanwezig of gepland (1,3)? Zijn er hoogwaardige vormen van landgebruik laag gelegen nu en in de toekomst (1,3)? Treedt er als gevolg van de overstroming hoge schade op aan infrastructurele lijnelementen nu en in de toekomst (1,5)?	
Klein		

In Tabel 13 is weergegeven op grond van welke landgebruik kenmerken kan worden bepaald welke gebiedscompartimentering strategie het meest geschikt is.

Tabel 13 Beoordeling gebiedscompartimentering strategie op basis van landgebruik

<i>Vraag</i>	<i>Antwoord</i>
Ziet het landgebruik er homogeen uit?	Ja, partitie of secundair
Ziet het landgebruik er heterogeen uit?	Ja, waarde of secundair
Zijn de hoogwaardige vormen van landgebruik centraal gelegen?	Ja, waarde of secundair

3.4.5. Retentiegebied

1. Landgebruik

Vlakdekkend landgebruik kan worden onderverdeeld in laag- en hoogwaardige vormen van landgebruik. In Tabel 14 zijn de verschillende vormen van landgebruik met de bijbehorende schade per m² weergegeven. Laagwaardige vormen zijn oppervlakte water en landbouw. Hoogwaardige vormen van landgebruik zijn onder meer vliegvelden en stedelijk gebied.

Tabel 14 Schade bij hoogwaardige en laagwaardige vormen van landgebruik (Dijkman en Groot Zwaartink, 2007)

	<i>Schadecategorie</i>	<i>Maximaal schadebedrag (€ per m²)</i>
Hoogwaardig 	Vliegvelden direct	120
	Stedelijk gebied direct	49
	Glastuinbouw direct	40
	Vliegvelden bedrijfsuitval	36
	Intensieve recreatie direct	11
	Extensieve recreatie direct	9
	Glastuinbouw indirect	4
	Landbouw indirect	1.6
	Landbouw direct	1.5
Laagwaardig	Oppervlaktewater direct	0

Als er sprake is van zowel hoogwaardige als laagwaardige vormen van landgebruik in het gebied, waarbij beide vormen min of meer gescheiden van elkaar voorkomen, dan biedt dit kansen voor een retentiegebied in de polder. Het kan dan lonend zijn om hoogwaardige vormen

van landgebruik te beschermen tegen overstromingen, door op laagwaardige vormen van landgebruik water te bergen. Berging van water op deze locaties levert relatief weinig potentiële schade op. Polders met alleen hoogwaardige vormen van landgebruik zijn minder geschikt voor grootschalig waterberging. Meestal ontbreekt dan de ruimte hiervoor, vooral binnen overwegend stedelijk gebied.

Het combineren van de aanleg van een retentiegebied met andere functies (zoals wonen) kan de totstandkoming ervan bespoedigen.

Aan de realisatie van een grootschalig retentiegebied kunnen in verband met de aanwezigheid van vliegvelden beperkingen worden gesteld. Aanleg van grootschalige retentie is dan niet mogelijk.

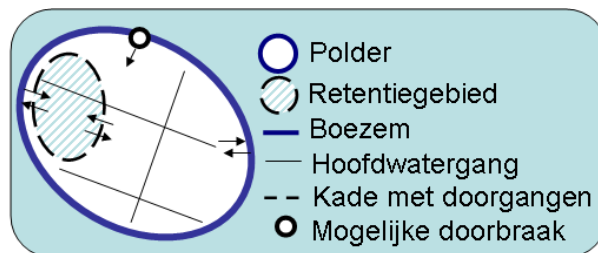
2. Watersysteem

De laatste jaren worden door verschillende partijen veel inspanningen gedaan om piek- en seizoensberging te realiseren, om de voorspelde toename in lokale neerslag op te kunnen vangen. Piek en seizoensberging kunnen beide worden onderverdeeld in berging van gebiedseigen (polder)water en berging van gebiedsvreemd water. De realisatie van extra piek en seizoensberging kan gecombineerd worden met Bouwen met Water varianten. Een dergelijk gebied kan mogelijk ook gebruikt worden als retentiegebied voor calamiteiten die binnen of buiten het gebied plaats vinden. Hieronder in Tabel 15 en in Figuur 23 zijn de mogelijkheden op een rij gezet.

Tabel 15 Mogelijkheden Waterberging Retentiegebied (Consortium Bouwen met Water, 2007).

<i>Soort water</i>	<i>Functie</i>
Gebiedsvreemd	Piekberging boezemwater
	Conservering regenwater uit omliggende gebieden (grootschalige seizoensberging)
	Calamiteitenberging na boezemdoorbraak
Gebiedseigen	Piekberging polderwater
	Conservering regenwater uit polder (seizoensberging)

Voor alle opties geldt dat het watersysteem in de polder, inclusief het retentiegebied, dusdanig moet worden vormgegeven, dat het mogelijk is dat water van buiten het gebied het liefst vanuit verschillende kanten het retentiegebied kan instromen.



Figuur 23 Retentiegebied binnen een polder

Er kan ook water geborgen worden op al binnen het gebied aanwezige oppervlakte water. De mogelijkheden die oppervlaktewater biedt is afhankelijk van het beschikbare oppervlak en de peilfluctuatatie die toelaatbaar is. Verder moet het oppervlak niet te hoog gelegen zijn om bereikbaar te kunnen zijn voor het water. Door oppervlaktewater te gebruiken als waterberging ontstaat in principe geen schade, hoogstens aan de oevers door de peilstijging.

Er kan de mogelijkheid bestaan om gebruik te maken van de verplaatsing van het water door de waterlopen. Transport van het water na een doorbraak naar gebieden waarbij de schade minder hoog zal zijn is dan een optie. Dit is wel erg afhankelijk van de grootte van het gebied en de dichtheid van het watersysteem. In grote polders is het niet altijd mogelijk om voor alle mogelijke boezemdoorbraken het retentiegebied effectief te kunnen inzetten als calamiteitenberging. Het systeem heeft in bepaalde gevallen een te lage transportcapaciteit

om te kunnen voorkomen dat er overstromingen plaatsvinden nabij de breslocatie. In kleinere speelt dit minder een rol.

Transport van water door waterlopen is te beïnvloeden door na een doorbraak de mogelijkheden van in het bedreigde gebied aanwezige stuwen te benutten. Na een doorbraak kan vooral bij kleinere polders met behulp van kleine aanpassingen van de aanwezige stuwen het water naar een retentiegebied geleid worden.

3. Hoogteligging

Als er relatief diep gelegen gebieden in de polder liggen en binnen de polder ook relatief laagwaardige vormen van landgebruik plaats vinden dan zijn deze gebieden bijzonder geschikt om een retentiegebied te realiseren. Relatief diep gelegen gebieden kunnen zonder al te veel aanpassingen worden aangewezen als retentiegebied, omdat het water hier van nature heen zal stromen. Hoewel de impact ook dan nog steeds behoorlijk zijn, kan de ligging van het gebied dan al voldoende zijn om zonder al teveel aanpassingen het water te kunnen bergen. Om meer bergingscapaciteit te bewerkstelligen kan er voor gekozen worden om grondverzet uit te voeren. Om het badkuipeffect (snelle overstroming en grote overstromingsdieptes) in het gebied te voorkomen kunnen er beschermende maatregelen worden getroffen voor de aanwezige hoogwaardige vormen van landgebruik of kan slechts een deel van een gebied voor retentie worden aangewezen.

4. Overstromingsberekening

Uit een overstromingsfrequentie kaart kan blijken of er locaties bestaan die relatief vaak overstromen. Als zich hier laagwaardige vormen van landgebruik bevinden dan zijn deze locaties uitermate geschikt om water te bergen.

5. Schadeberekening

De combinatie van een overstromingsfrequentie kaart en een gemiddelde schade per cel kaart kan informatie opleveren over de kansrijkheid van een retentiegebied op een bepaalde locatie. Als de gemiddelde schade laag is en het gebied vaak overstroomd, dan kan hier in combinatie met een gunstige hoogteligging water geborgen worden.

Samenvatting

In

Tabel 16 zijn de belangrijkste vragen die de gebruiker aan zichzelf kan stellen voor de maatregel Retentiegebied weergegeven.

Tabel 16 Beoordeling maatregel Retentiegebied

Belang	Vraag	Antwoord
Groot	Is er een retentiegebied in de polder aanwezig of gepland bijvoorbeeld voor pieken of seizoensberging (1,2)? Zijn er deelgebieden met lage schade aan te wijzen die vaak overstromen (4,5)? Is de orde van grootte van dit oppervlak van laagwaardige vormen van landgebruik 100 ha (1)? Is er sprake van voor andere doelen aanwezig of aan te leggen oppervlaktewater (1,2)? Is de orde van grootte van het aanwezige of geplande oppervlaktewater 100 ha? Is er in het gebied sprake van hoog- en laagwaardige vormen van landgebruik (1)? Zijn deze laagwaardige vormen van landgebruik laag gelegen (1,3)? Zijn er delen van het gebied van nature gevoelig voor overstromingen (4)? Zijn er in het subgebied met laagwaardige vormen van landgebruik ook nog hoogwaardige vormen van landgebruik aanwezig (1)? Is het watersysteem gestuwd?	
Klein	Zijn er beperkingen voor aanleg van grote wateroppervlakken in verband met	

	de nabijheid van vliegvelden (1,2)?	

3.4.6. Boezemcompartimentering

1. Landgebruik

Als er relatief veel hoogwaardige vormen van landgebruik op en nabij de boezem gelegen zijn, zal de schade aan woningen en beschoeiingen als gevolg van compartimentering van de boezem aanzienlijk zijn. Door droogvallen van de gecompartmenteerde boezem zullen verzakkingen optreden. Met boezemcompartimentering zal de schade aan deze functies geringer zijn. Boezemcompartimentering zal leiden tot verminderen van de schade aan boezemstelsel en bovenland. De schade aan het gecompartmenteerde deel van de boezem zal groter zijn, daar buiten echter minder.

Naast schadevermindering biedt boezemcompartimentering meerwaarde voor andere vormen van landgebruik:

- Met een goed compartimenteringssysteem kan worden voorkomen dat de scheepvaart in een groot gebied na een kadedoorbraak wordt verstoord
- Door boezemcompartimentering kan bij een doorbraak van een waterkering de schade aan natuurwaarden worden beperkt. Hierbij kan worden gedacht aan het stromen van vissen door de bres of schade aan natuurvriendelijke oevers (Spijker et al., 2005)

Kijkende naar de infrastructuur in de boezem van het poldergebied kan geschat worden op welke locaties het mogelijk zou moeten zijn om zonder grote inspanning en belasting van de boezemkades vanaf bruggen compartimenteringswerken in de boezem te plaatsen.

2. Watersysteem

Grote wateroppervlakken staan soms in directe verbinding met de boezem. Boezemcompartimentering is bij dit soort gevallen mogelijk niet voldoende om de instroom te beperken. De ventielwerking zal als gevolg van de aanwezigheid van grote wateroppervlakken gedeeltelijk of geheel ontbreken. Hierdoor blijft de toestroom van water ook na boezemcompartimentering zeer groot. Aanvullende maatregelen zijn dan in ieder geval benodigd, omdat de toestroom niet volledig kan worden afgesloten.

Boezemcompartimentering met BWO's heeft ten aanzien van de mogelijke sluitingstijd de voorkeur. Ook als deze wat verder van de bres gelegen is dan een te realiseren noodwaterkering kan inzet van een BWO effectiever zijn dan een boezemcompartimentering met mobiele keringen. Het is goed om de mogelijkheden van oude vaak vergeten keringen te verkennen. Het kan zin hebben om op strategische plaatsen permanente boezemcompartimenteringswerken bij te plaatsen. De sluitingsnelheid van zo'n kering is veel kleiner en kan daardoor bij een doorbraak de instroom sterk verminderen ten opzichte van boezemcompartimentering met mobiele keringen.

Boezemcompartimenteringswerken kunnen ook effectief worden ingezet voor andere doeleinden zoals een milieucalamiteit of bij omkering van de stroomrichting bij extreme droogte (zoals op de Amstel in de zomer van 2003). (Spijker et al., 2005)

3. Hoogteligging

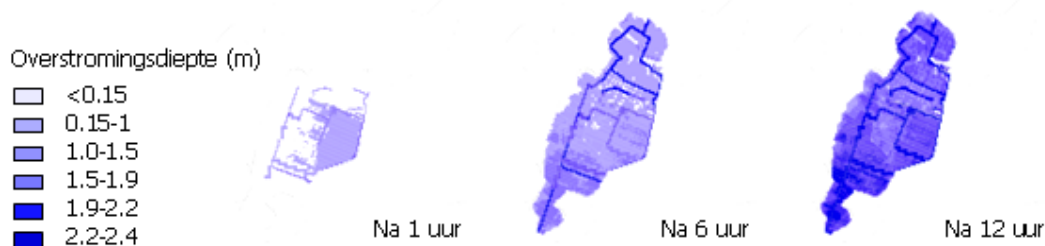
Boezemcompartimentering in de standaardvorm is minder kansrijk bij doorbraken in kleine, diepliggende polders. Deze polders lopen relatief snel vol en in de tijd die nodig is voor mobilisatie en sluiting van de keringen kunnen al zeer grote overstromingsdieptes in de polder ontstaan. De bergende capaciteit van een polder wordt bepaald door het polderoppervlak en de mogelijke overstromingsdiepte. De instroom is echter ook afhankelijk van een aantal andere

factoren (bijvoorbeeld het boezemdebiet na een doorbraak, verschil tussen boezempeil en maaiveld en de bresgrootte). Hierdoor is het moeilijk om alleen op basis van hoogteligging (en polderoppervlak) aan te kunnen geven onder welke condities boezemcompartimentering zin heeft en wanneer niet.

4. Overstromingsberekening

Als de stroomsnelheid bij de bres in de initiële situatie kleiner dan 1 m/s dan is boezemcompartimentering bij de bres mogelijk. In de meeste gevallen zal compartimentering bij de bres gezien de hoge optredende stroomsnelheid bij de bres echter niet mogelijk zijn. Uit de overstromingsberekening blijkt hoe groot, zonder inzet van maatregelen, de stroomsnelheden bij de bres daadwerkelijk zijn. Als compartimenteren bij de bres niet mogelijk is, moet men proberen om verder van de bres af te compartimenteren. De meest praktische vorm van deze boezemcompartimentering is het compartimenteren met bigbags en stortsteen nabij bruggen. Alternatief voor het compartimenteren van de boezem met stortsteen is compartimentering met BWO, ook op verder van de bres gelegen locaties.

Met behulp van een overstromingsberekening is een goede inschatting te maken van het nut dat boezemcompartimentering kan hebben. Vanuit Sobek kan de instroom van boezemwater in de tijd worden geanalyseerd, de som van het boezemdebiet in beide boezemdelen bij de bres. Daarnaast kan met de mogelijkheden voor wat betreft de verschillende vormen van boezemcompartimentering ter plaatse een inschatting worden gemaakt van het verloop van de compartimentering. Op deze manier zijn de kansen van boezemcompartimentering voor een bepaalde polder of boezemtraject te schatten.



Figuur 24 Boezemcompartimentering niet altijd even effectief (HL, 2007a)

Als illustratie kan de Lisseerpolder nabij Lisse genomen worden, direct gelegen aan de HLM-boezem. Binnen 6 uur na een boezemdoorbraak staat hier de volledige polder vol met water (zie Figuur 24). Bij een mobilisatietijd van ongeveer 4 uur en afhankelijk van het type kering een sluitingstijd van 4 tot 20 uur is boezemcompartimentering hier nauwelijks de moeite waard. Zelfs als een BWO zou kunnen worden ingezet kan pas na 7 uur de boezemcompartimentering worden voltooid. De oppervlakte van deze polder bedraagt 360 ha bij een gemiddelde hoogteligging van 3.0 m – NAP. De instroom vanuit beide boezemdelen bedraagt 60-100 m³/s wat resulteert in een gemiddelde overstromingsdiepte van ruim 2 m (na 48 uur). Voor deze polder lijkt boezemcompartimentering niet erg veel effect te hebben.

5. Schadeberekening

Bij het bepalen van de schade voor een polder in de uitgangssituatie met het HIS SSM moet men er erg in hebben dat de schade aan boezem en bovenland niet in het model is opgenomen. Op basis van een schadeberekening kan worden bepaald op welke plaatsen in de boezem het extra nut heeft om snelle boezemcompartimentering in te zetten. Door sneller te kunnen compartimenteren is de instroom en daardoor de schade te beperken.

Boezemcompartimentering zorgt ervoor dat het volume dat de polder in kan stromen beperkt wordt, maar beperkt ook de schade aan boezem en bovenland. De schadebeperking (niet HIS

SSM- schade) kan afhankelijk van de betreffende boezem oplopen tot meer dan € 1 miljoen/km (N&S Consultants, 2006).

Samenvatting

In Tabel 17 zijn de belangrijkste vragen die de gebruiker aan zichzelf kan stellen voor de maatregel boezemcompartimentering weergegeven.

Tabel 17 Beoordeling maatregel Boezemcompartimentering

<i>Belang</i>		Antwoord
Groot	Is de stroomsnelheid bij de bres groter dan 1 m/s (4)? Is de overstromingsdiepte in de polder na 3 uur (minimale mobilisatietijd boezemcompartimentering) niet overal >0 m (4)? Staan er geen grote wateroppervlakken in directe verbinding met de boezem (1,2)? Wordt de boezem gekruist door veel bruggen (1)? Zijn er BWO's in de boezem aanwezig (2)? Is de polder ten opzichte van de boezem niet diep gelegen nu en in de toekomst (3)? Is de polder groter dan orde grootte 100 ha (2)? Dit is een maat voor de snelheid van vol lopen van de polder, dat ook nog van andere parameters afhankelijk is. Zijn er veel hoogwaardige vormen van landgebruik op en nabij de boezem gelegen (1)?	
Klein	Bestaat er ten behoeve van andere calamiteiten de behoefte om de boezem te kunnen afsluiten (2)?	

3.4.7. Waterloopcompartimentering in de polder

1. Landgebruik en 2. Watersysteem

Het tegengaan van een verplaatsing van een overstroming of juist het bevorderen daarvan is te bereiken door de inzet van in het gebied aanwezig zijnde stuwen of andere kunstwerken. Stuwen zijn meestal al in het gebied aanwezig ten behoeve van het lokale waterbeheer. Door op verschillende locaties stuwen te openen of te sluiten kan het water worden gestuurd naar plaatsen waar het relatief gezien het minst kwaad kan. Dit kunnen plaatsen zijn waar zich relatief laagwaardig vormen van landgebruik bevinden. Door het afsluiten van bepaalde waterlopen kan voorkomen worden dat de overstroming zich door de waterlopen verplaatst naar gebieden met hoogwaardige vormen van landgebruik en daarmee hoge potentiële schade.

Voor inzet van deze maatregel zijn stuwen of andere constructies benodigd die de waterloop kunnen afsluiten of juist kunnen openen. Dit kunnen bestaande stuwen zijn, die ook voor de dagelijkse waterhuishouding gebruikt worden of nog te realiseren stuwen. De genoemde constructies kunnen bijvoorbeeld ook een rol spelen bij waterkwaliteitscalamiteiten. Daarnaast kunnen - als deze in de polder aanwezig zijn - BWO's worden ingezet voor de compartimentering van een waterloop.

De berging- en transportcapaciteit van het hoofdwaterlopen systeem is onder meer afhankelijk van de afmetingen van het systeem (initiële waterstand, waterdiepte en waterloopbreedte). Dit bepaalt mede het effect van de waterloopcompartimentering.

3. Hoogteligging

De hoogteligging van de waterlopen kan inzicht geven in de snelheid waarmee een overstroming zich binnen de polder kan verplaatsen. Een systeem met weinig hoogteverschillen gedraagt zich bij een overstroming relatief traag. Hierdoor is het minder

geschikt voor waterloopcompartimentering – het sturen of tegenwerken van een overstroming door de waterlopen. In een gebied met grotere hoogteverschillen verplaatst het water zich sneller. Hier zal het afsluiten van de waterlopen vermoedelijk wel minder effect hebben, omdat het water gemakkelijker om de afsluiting zal heen stromen.

4. Overstromings- en 5. Schadeberekening

De overstromingsberekening kan uitwijzen hoe het water zich daadwerkelijk in de polder verspreid. Als blijkt dat de overstroming zich door de waterlopen verplaatst is het mogelijk om het water te sturen en te vertragen naar locaties waar het minder kwaad kan, bijvoorbeeld in combinatie met een retentiegebied.

Gegeven een aantal overstromingsscenario's kan de gewenste maatregel per doorbraak verschillend zijn. In sommige gevallen kan een stuw uitkomst bieden om het water tegen te houden. In andere gevallen moeten stuwen juist worden geopend om het water een vrije doorgang te geven. Verder moet het water zich terplekke van de waterloopcompartimentering niet verplaatsen over het maaiveld, anders heeft de maatregel bijzonder weinig effect. Als laatste is van belang dat met de compartimentering schade in een ander gebied kan worden voorkomen.

Samenvatting

In Tabel 18 zijn de belangrijkste vragen die de gebruiker aan zichzelf kan stellen voor de maatregel waterloopcompartimentering in de polder weergegeven.

Tabel 18 Beoordeling maatregel Waterloopcompartimentering in de polder

<i>Belang</i>		Antwoord
Groot	Zijn er hoogwaardige vormen van landgebruik aanwezig of gepland (1)? Ontstaat er schade aan hoogwaardige vormen van landgebruik (1,5)? Komt het water terecht op de plaats waar het de minste schade veroorzaakt (4)? Is het gebied niet groot (ordegrootte 1000 ha) (1)? Verplaatst de overstroming zich vooral door de waterlopen (4)? Is het watersysteem vooral gestuwd (2)? Zijn er BWO's in de polder aanwezig (2)?	
Klein	Zijn er grote hoogteverschillen in het gebied (3)?	

3.4.8. Overstromingsbestendige inrichting

Deze maatregel is op grote schaal voornamelijk interessant bij bescherming tegen overstroom van hoogwaardige vormen van landgebruik, bijvoorbeeld stedelijk gebied en glastuinbouw, die in de toekomst gepland zijn om te realiseren. Door technieken zoals bouwen op palen, drijvende woningen en verhoogd maaiveld is de schade als gevolg van overstromingen terug te dringen. De kosten van deze aanpassingen voor bestaande objecten zijn hoger dan voor nieuwe objecten. Het dient dan ook aanbeveling om al in de ontwerpfase aandacht te schenken aan een dergelijk ontwerp. Het is daarom vooral een maatregel die interessant is om bij toekomstige ontwikkelingen toe te passen. De afmetingen, plaats, vorm en hoedanigheid van de gebruikte techniek is afhankelijk van de schade- en overstroming berekening. Voor toekomstige ontwikkelingen is het daarbij in ieder geval van belang om de ontwikkelingen te projecteren op de hoogteligging en het watersysteem van het gebied en de veranderingen die daarin kunnen gaan optreden. Gebieden die bijvoorbeeld sterk onderhevig zijn aan bodemdaling kunnen ook in de toekomst veilig bewoond worden met behulp overstromingsbestendige technieken. Verschillende Bouwen met Water varianten kunnen worden gecombineerd met de aanleg van andere eerder besproken maatregelen, zoals een retentiegebied. In de buurt van vliegvelden moet rekening worden gehouden met beperkingen

voor de realisatie van woningbouw binnen de wettelijk vastgelegde geluidscontouren (consortium Bouwen met Water, 2007).

Samenvatting

In Tabel 19 zijn de belangrijkste vragen die de gebruiker aan zichzelf kan stellen voor de overstromingsbestendige inrichting weergegeven.

Tabel 19 Beoordeling maatregel Overstromingsbestendige inrichting

<i>Belang</i>		Antwoord
Groot	Is de schade die optreedt aan hoogwaardige vormen van landgebruik groot nu en in de toekomst (5)?	
	Zijn de hoogwaardige vormen van landgebruik overstromingsgevoelig nu en in de toekomst (4)?	
	Is de geplande locatie relatief laag gelegen nu en in de toekomst (3)?	
	Is de geplande locatie niet relatief hoog gelegen nu en in de toekomst (3)?	
	Zijn er hoogwaardige vormen van landgebruik gepland (1)?	
Klein		

3.4.9. Inzet gemaal

2. Watersysteem

Het aanspreken van de capaciteit van boezem gemalen in het getroffen gebied, kan de instroom van water in de polder aanzienlijk beperken. Meestal komt het neer op het verhinderen van de toestroom van water in een van de boezemtakken richting de bres. Het watersysteem biedt informatie over de aanwezigheid van een boezemgemaal in het poldersysteem. Is er geen gemaal in de directe nabijheid aanwezig dan is deze maatregel minder kansrijk. Hoe verder het gemaal van de bres gelegen is, hoe minder effectief de maatregel zal zijn. De invloed van de inzet van het gemaal beperkt zich tot naar schatting ongeveer 10 km vanaf de bres. Daarnaast geldt dat de tijd die nodig is om het gemaal operationeel te krijgen van groot belang is. Als het gemaal na een calamiteit direct inzetbaar is biedt dit veel meerwaarde.

De invloed die de inzet van het gemaal kan hebben is ook nog afhankelijk van de gemaalcapaciteit en de aan- en afvoercapaciteit van de boezem bovenstrooms en stroomafwaarts van het gemaal.

Hoogteligging, landgebruik, overstromings- en schadeberekening spelen bij deze maatregel een ondergeschikte rol van betekenis. De inzet van een gemaal beperkt namelijk alleen de toestroom richting de bres. Op basis van deze onderdelen kan wel inzichtelijk worden gemaakt op welke locaties de schade met deze maatregel het meest beperkt zou kunnen worden.

Samenvatting

In Tabel 20 zijn de belangrijkste vragen die de gebruiker aan zichzelf kan stellen voor de maatregel inzet gemaal weergegeven.

Tabel 20 Beoordeling maatregel Inzet Gemaal

<i>Belang</i>		Antwoord
Groot	Ligt de boezem in de nabijheid (ordegrootte 1 km) van een boezemgemaal (3)?	
	Leidt inzet van de maximale gemaalcapaciteit niet tot grote waterhuishoudkundige problemen buiten het gebied (3)?	
Klein	Is het gemaal bij een calamiteit direct inzetbaar (orde grootte 1 uur) (3)?	

3.5. Maatwerk

Meestal zijn schadebeperkende maatregelen er op gericht om bij meerdere doorbraakscenario's de schade te beperken. Als er voor een bepaalde doorbraak een maatregel op maat wordt gemaakt noemt men dit maatwerk. Voor de HLM is er een maatwerk maatregel opgesteld voor Schiphol. Door de ligging van de luchthaven tegen de westelijke boezem aan en de grote schade die optreedt op een relatief klein oppervlak kan het lonend zijn om dit gebied extra tegen overstromingen te beschermen. Maatwerkoplossingen zijn maatregelen zoals waterloopverdieping, -verbreding, -omlegging, versnelde boezemcompartimentering of plaatsing van sifons. Als extra veiligheid voor een deel van het gebied gewenst is, dan zal er echter ook een groter budget beschikbaar moeten zijn. Een groot nadeel van maatwerk is dat het specifiek voor een bepaalde locatie of slechts een kort boezemtraject genomen wordt. Andere delen van de boezem hebben er niet direct baat bij. Vooral bij maatwerk is de afweging tussen extra investeringen in maatregelen en acceptatie van potentiële schade belangrijk.

3.6. Combinaties

Combinaties van maatregelen kunnen elkaar versterken of juist tegenwerken. Zo verhindert boezemcompartimentering de instroom vanuit de boezem, waardoor maatregelen die in de polder zelf worden genomen minder effectief worden, dan wanneer de boezem niet gecompartmenteerd wordt. Dit bleek ook uit de case in Hoofdstuk 3. Hetzelfde effect heeft de inzet van een gemaal. Andere maatregelen kunnen elkaar juist versterken. Waterloopcompartimentering in de polder resulteert in berging van het ingestroomde water op een kleiner oppervlak. De aanleg van een verdiept retentiegebied in het gecompartmenteerde deel van de polder kan het surplus aan water opvangen, zodat binnen het overstroomde compartiment de schade ook nog kan worden verminderd. Als transport door waterlopen mogelijk is kan het in andere situaties overigens beter zijn om geen waterloopcompartimentering toe te passen. Op deze manier kan de capaciteit van een retentiegebied optimaal benut worden. Gebiedscompartimentering in combinatie met instroombeperkende maatregelen is alleen effectief als het water de hoogwaardige vormen van landgebruik ook daadwerkelijk bereikt. De verschillende strategieën die voor gebiedscompartimentering mogelijk zijn kunnen binnen een gebied met elkaar gecombineerd worden. Het toepassen van meerdere strategieën ter bescherming van slechts één locatie (dubbelop) is mogelijk, maar is een minder logische keuze. Een overstromingsbestendige inrichting is verder goed te combineren met waterberging binnen een retentiegebied. Maatwerk maatregelen tenslotte zijn eigenlijk altijd wel te combineren met andere maatregelen, omdat de invloed zich beperkt tot een slechts een klein deel van het gebied.

Bij het combineren van maatregelen is het verstandig om na te denken welke van de maatregelen elkaar kunnen versterken dan wel tegenwerken en ook waar dit in het gebied zal plaatsvinden en waar niet. Bij het zoeken naar combinaties van maatregelen kunnen de volgende twee stappen worden doorlopen, geïllustreerd in Figuur 53 (Bijlage H).

1. Start met inventarisatie van mogelijke vormen van maatregelen die de instroom van water vanuit de boezem beperken en ga na welk volume boezemwater alsnog de polder instroomt. Ga daarbij uit van de meest realistische vorm van mogelijke boezemcompartimentering (locatie en aard van de kering) en/of inzet van gemalen (zie Figuur 47, Bijlage H).
2. Daar waar het water terecht komt kunnen indien gewenst ten behoeve van hoogwaardige vormen van landgebruik aanvullende maatregelen worden genomen om het gevolg te beperken. Let daarbij op de invloed die het beperkt aantal gekozen doorbraaklocaties kan hebben op het verkregen overstromingsbeeld na stap 1. Per maatregel kan na worden gegaan of de maatregel volledig effect heeft of slechts gedeeltelijk en in hoeverre de maatregelen nuttig zijn om in combinatie met andere al gekozen maatregelen uit te voeren.

4. Discussie, conclusies en aanbevelingen

4.1. Discussie

HIS SSM

In het onderzoek is de HIS Schade- en Slachtoffer Module (HIS SSM) gebruikt om het effect van maatregelen onderling met elkaar te vergelijken. Een reeks van aannames en beperkingen ligt ten grondslag aan het model en er kan dan ook veel op worden aangemerkt. Het is echter wel het beste instrument dat op dit moment voorhanden is om overstromingsschade voor Nederland te kunnen bepalen. Bij elke berekening wordt een fout gemaakt. Het vergelijken van berekeningen onderling is mogelijk als wordt aangenomen dat in elke berekening min of meer dezelfde fout is inbegrepen. De nadruk in dit onderzoek lag op de verschillen tussen de schadebedragen onderling.

Het landgebruik is in veel gevallen onderhevig aan veranderingen. Het is een gemiste kans van Rijkswaterstaat om de dataset van het HIS SSM niet geregeld up te daten met de meest recente data. Hierdoor ontstaat bij overgang van laagwaardige naar meer hoogwaardige vormen van landgebruik een onderschatting van de overstromingsschade. De gebruiker moet daar bij het interpreteren van de resultaten rekening mee houden.

De hydraulische resultaten waren in dit onderzoek in een nauwkeuriger grid (25x25m) beschikbaar dan er met het schademodel (100x100m) gerekend kon worden. Door opschaling van de hydraulische resultaten ging informatie verloren.

Daarnaast is het erg omslachtig om toekomstige ontwikkelingen in het landgebruik in schadeberekeningen door te voeren. Hierdoor wordt het praktisch onmogelijk gemaakt om toekomstige ontwikkelingen in het landgebruik met het HIS SSM te modelleren, waardoor het niet mogelijk is om de invloed hiervan op de potentiële schade te bepalen. Het kunnen aanpassen van de data die ten grondslag ligt aan het HIS SSM zou een waardevolle aanvulling zijn.

Het effect van maatregelen die de overstromingsduur verminderen, komt niet tot uiting in het HIS SSM. Dit levert in het model geen schadevermindering op, terwijl dit in werkelijkheid wel een belangrijke rol speelt. Een belangrijke verbetering, zeker ook ten aanzien van schade door bedrijfsuitval, zou daarom het opnemen van de factor tijdsduur van de overstroming in het HIS SSM zijn.

Relatie met stedelijk en primair watersysteem

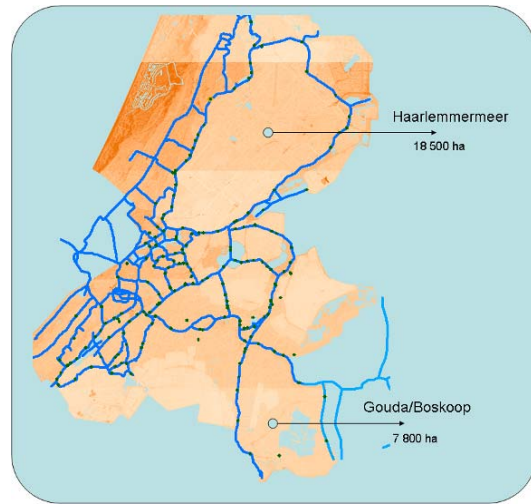
Het kan voorkomen dat er stedelijk gebied binnen een polder gelegen is. Schadebeperkende maatregelen die invloed hebben op het stedelijk gebied hebben vaak raakvlakken met het stedelijk waterbeheer. Maatregelen ten behoeve van piek- en seizoensberging kunnen bijvoorbeeld vanuit het stedelijk waterbeheer geïmplementeerd worden. De leidraad probeert de inpassing van maatregelen af te stemmen op dergelijke ontwikkelingen die vanuit het stedelijk waterbeheer al op handen zijn. Andersom gedacht kan het stedelijk waterbeheer, waar mogelijk, inhaken op maatregelen die vanuit de leidraad naar voren komen.

De leidraad is gericht op het beperken van overstromingsschade als gevolg van regionale keringen. Het specifieke karakter van deze overstromingen, vereist een specifieke leidraad. Als bijvoorbeeld puur vanuit het primaire watersysteem zou worden geredeneerd, zou men niet snel op een maatregel als boezemcompartimentering gekomen zijn. Het koppelen van maatregelen ten behoeve van zowel het primaire en het regionale systeem kan uitkomst bieden, maar is door de verschillen tussen de maatregelen niet altijd even goed mogelijk. Schadebeperkende maatregelen ten behoeve van het regionale systeem kunnen invloed hebben op overstromingen uit het primaire systeem. Bij de implementatie van maatregelen ten behoeve van het regionale systeem moet daarom altijd rekening worden gehouden met het primaire watersysteem, andersom overigens ook. De leidraad is opgezet om tot een kansrijke voorselectie te komen. Een afweging tussen kansrijke maatregelen zal later plaatsvinden. Bij

deze afweging van maatregelen zou de invloed van de maatregelen op overstromingen vanuit het primaire watersysteem zeker een criterium moeten zijn.

Gebiedsgrootte

Het gebied Gouda/Boskoop heeft een oppervlakte die ruim twee maal zo klein is als de Haarlemmermeer (zie Figuur 25). De orde van grootte is dus hetzelfde. De schaal van de te nemen maatregelen is terug te vinden in de schaal van de polder. Hoe kleiner de polder hoe minder ruimte er is om grootschalige compartimenteringstrategieën, zoals een secundaire dijkkring, toe te passen. In grotere polders zoals de Haarlemmermeer is het water minder gemakkelijk te sturen, omdat de afstanden groot zijn. In kleinere gebieden is dit gemakkelijker. Overigens speelt hier ook de snelheid van het verloop van de overstroming een grote rol. Kleinere polders lopen sneller vol. Hetzelfde geldt voor een diepe polder. Bij snelle overstromingen worden maatregelen die een bepaalde mobilisatietijd vergen minder effectief.



Figuur 25 Vergelijking gebieden Haarlemmermeer en Gouda/Boskoop binnen beheersgebied van Rijnland

4.2. Conclusies

Maatregelen

Het eerste deel van de in Hoofdstuk 1 geformuleerde onderzoeksvragen richtte zich op de vraag welke maatregelen genomen kunnen worden om overstroomingsschade als gevolg van bezwijken van regionale keringen nu en in de veranderende toekomst te beperken. Voor wat betreft de gevonden maatregelen kan het volgende worden geconcludeerd.

Boezemcompartimentering is een belangrijke maatregel die zich richt op het beperken van de instroom en daardoor in de meeste gevallen erg kansrijk is. Er bestaan echter polders waarbij boezemcompartimentering weinig tot geen effect heeft, vanwege de reactie- en mobilisatietijd die voor deze maatregel vereist is enerzijds en de snelheid van de overstroming anderzijds. Een andere kansrijke instroombeperkende maatregel is het benutten van eventuele beschikbare gemaalcapaciteit.

Sturen van water is vooral in grotere polders een minder kansrijke maatregel in verband met de traagheid van watersystemen. De schade als gevolg van een boezemdoorbraak die in de eerste uren wordt veroorzaakt is hierdoor dan ook moeilijk te voorkomen. In enkele specifieke gevallen kan waterloopcompartimentering in de polder uitkomst bieden.

Met behulp van strategieën voor gebiedscompartimentering is de schade sterk terug te dringen. Niet alle compartimenteringsdijken zijn effectief voor wat betreft het beperken van het aantal slachtoffers en de schade. De effectiviteit van de maatregel verschilt per geval (doorbraakscenario).

Het meeliften op de aanleg of aanpassing van nieuwe of bestaande infrastructuur vormt bij de aanleg van compartimenteringskeringen een kansrijke koppelkans. Hierdoor kunnen de realisatiekosten vergaand beperkt worden. Een andere koppelkans voor schadebeperking vormt de aanleg van retentiegebieden al dan niet in combinatie met een overstroomingsbestendige inrichting in geval er functies beschermd moeten worden.

Voor de Haarlemmermeer heeft dit onderzoek geleid tot een veelbelovend schade reducerend maatregelenpakket. De combinatie van maatregelen uit de schakels preventie en repressie, binnen Rijnland nog geen alledaagse combinatie, is kansrijk gebleken voor wat betreft de

gevolgbeperkende effecten. In een vervolgonderzoek kunnen de kosten van de maatregelen verder worden geïnventariseerd.

Stedelijk gebied nabij de boezem

Stedelijk gebied dat direct aan de boezem gelegen is, is lastig te beschermen. Dit is uit beide in het onderzoek beschouwde casus gebleken. In dit soort gevallen zou men zich voor wat betreft maatregelen dan ook meer moeten richten op het terugdringen van de kans van doorbraak in plaats van op de gevolgen. Analooq aan bovenstaande kan ook voor het vlakbij de boezem gelegen Schiphol worden gesteld dat het lastig te beschermen is voor doorbraken die ontstaan in de oostelijke boezem. Alleen het uitvoeren van kosten intensief maatwerk voor dit deel van de boezem kan de schade bij doorbraken op dit traject enigszins verminderen. Wat verder nog opvalt, is dat Schiphol bij doorbraken in andere delen van de boezem weinig hinder zal ondervinden.

Toepassingsbereik

De in dit onderzoek ontwikkelde leidraad is toegepast op het gebied Gouda/Boskoop en op grond van de bevindingen daarvan aangepast. De leidraad is een daarbij een waardevol hulpmiddel gebleken om tot schadebeperkende maatregelen te komen. Het is mogelijk gebleken om de kansrijkheid van dergelijke schadebeperkende maatregelen aan de hand van bepaalde gebiedskenmerken in te schatten en generieke statements hieromtrent te bundelen in een leidraad. Met het opzetten van deze leidraad is een belangrijke eerste stap gezet naar een praktisch instrument om tot kansrijke schade beperkende maatregelen voor het regionale watersystemen te kunnen komen. De leidraad is op dit moment nog niet compleet. Elke volgende toepassing van de leidraad zal tot nieuwe bevindingen leiden. Hierdoor wordt verdere uitbreiding en optimalisatie van de gegevensbenadering mogelijk. Naar verwachting zijn nog een aantal iteratieslagen nodig. De leidraad kan op deze manier steeds verder vorm krijgen.

4.3. Aanbevelingen

Hieronder zijn enkele suggesties te vinden, op basis waarvan het Sobek1D2D model van Rijnland en de leidraad met behulp van vervolg onderzoek verder kan worden uitgebreid.

Hydraulisch Model

Het in dit onderzoek gebruikte Sobek1D2D model kan op een aantal punten verbeterd worden. Uit één van de gevoeligheidsanalyses bleek dat de modellering van de waterlopen verder geoptimaliseerd kan worden. Dit is mogelijk door een polder waarvan zeer gedetailleerde gegevens over de hoogteligging van de hoofdwaterlopen en bijbehorende kades bekend zijn te modelleren met de 2D module. De uitkomsten van het 2D model kunnen vergeleken worden met een 1D modellering, waarbij de grootte en de wijze van de correctie voor de hydraulische capaciteit en het bergend vermogen gevarieerd worden. Op deze manier is de fysisch meest correcte en waar mogelijk meest praktische 1D modellering te bepalen.

Verder zou voor kleinere polders de modellering voor een polder met een fijner grid kunnen worden uitgevoerd. Omdat het gecorrigeerde hoogtemodel alleen in de opgeschaalde vorm beschikbaar was, was het binnen dit onderzoek niet mogelijk om met een fijner grid te werken, zonder daarbij de correctie volledig opnieuw te moeten uitvoeren. Bij kleine polders vormt de rekentijd geen grote beperking. Modelleren met een fijner grid levert dan nauwkeurigere resultaten op, omdat bij het opschalen geen informatie uit het hoogtemodel verloren gaat.

De laatste inmeting van de hoogteligging dateert uit het jaar 2003. In 5 jaar kunnen er voor het overstromingspatroon en de schade belangrijke elementen aan het gebied zijn toegevoegd. Als het hoogtemodel hier niet voor gecorrigeerd wordt, zullen de modelresultaten achter lopen op de werkelijke situatie. In dit onderzoek is geprobeerd voor de belangrijkste elementen te corrigeren. Als de resultaten uit het AHN-2 project bekend zijn, kan aansluitend met de meest actuele gegevens over de hoogteligging van een willekeurig gebied worden gerekend.

Naast de beperkingen die de gebruikte modellen met zich meebrengen is de zorgvuldige selectie van doorbraaklocaties een belangrijk punt. De keuze van doorbraaklocaties kan erg bepalend zijn voor de optredende (gemiddelde) schade, vooral in grotere dijkringen.

Grondslag

In dit onderzoek is gekeken naar twee relatief grote polders die door het Hoogheemraadschap van Rijnland beheerd worden, de Haarlemmermeer en Gouda/Boskooop. Hier is vanwege praktische redenen (beschikbaarheid van data en modellen) voor gekozen. Het zou interessant zijn om ook buiten het beheersgebied van Rijnland te gaan kijken. Het toepassen van de leidraad in gebieden buiten Rijnland kan meer informatie opleveren over de bruikbaarheid van de leidraad. In dit onderzoek waren de casus voor wat betreft de grootte van het oppervlak vrij groot. Het dient aanbeveling om bij vervolgonderzoek ook naar kleinere polders met een oppervlak van andere orde van grootte te kijken. Een voorzet hiervoor is gegeven met de Lisserpoelpolder in Paragraaf 3.4.6.

Een ander gegeven is dat de ontwikkeling, toepassing en bijsturing van de leidraad tot nu toe door slechts één persoon is uitgevoerd. De werkelijke bruikbaarheid van de leidraad is pas te onderzoeken als ook andere personen, bijvoorbeeld mensen van het Hoogheemraadschap Rijnland, met de leidraad aan de slag gaan.

Uitbreiding

In Hoofdstuk 1 kwam in de afbakening een aantal belangrijke uitgangspunten aan bod. Binnen dit afstudeeronderzoek was het noodzakelijk om te focussen op een bepaald type maatregelen. De leidraad beschouwt hierdoor nu nog alleen fysieke gevolgbeperkende maatregelen. Uitbreiding van de leidraad met ook andere schadebeperkende maatregelen is gewenst. Verder zouden ook maatregelen opgenomen moeten worden die zich richten op de kans van doorbraak, zoals dijkverhoging.

Elke maatregel is in de leidraad vereenvoudigd tot slechts een beperkt aantal opties. Het uitbreiden van het aantal opties met daarbij, indien mogelijk, de kenmerken op basis waarvan een optie kansrijk wordt geacht, kan de leidraad verder vorm geven. In vervolgonderzoek kan bijvoorbeeld gekeken worden naar het effect en de meerwaarde die het plaatsen van een derde en vierde boezemcompartimenteringswerk kan bieden.

Referenties

- Alterra, 2004, gegevensbestand Landelijk Grondgebruik Nederland 5 (LGN5), Wageningen
- Air Traffic Control the Netherlands, 2008, Schiphol RWY 36L Aerodrome Obstacle Chart type A, AD2.EHAM-AOC-36L
- Briene M., Koppert S., Koopman A., Verkennis A., 2002, Financiële onderbouwing kengetallen hoogwaterschade, NEI B.V.
- Data-ICT-Dienst RWS, 2008, Actueel Hoogtebestand Nederland, Inwindata, Ahn.nl, bezocht op: 06-06-2008
- Consortium Bouwen met Water (publieke en private partijen en onderzoeksinstituten), Holle Volle Dijk, 2005, Bouwstenen voor wonen en waterberging in de Haarlemmermeer, Bsik project Bouwen met Water, Hoofddorp
- Consortium Bouwen met Water (publieke en private partijen en onderzoeksinstituten), 2007, Waterstedenbouw (inclusief poster), Bsik project Bouwen met Water
- Engelen G. van, 2004, *Wilnis revisited: het zeepsop-experiment*, Integraal Delft, 2004, nr. 2, blz. 26-29
- Evenhuis E., Morselt T., Bernardini P., Jonkman B., 2007, *Economische schade na overstromingen wordt onderschat*, H2O, 2007, nr. 4, blz 4-6
- Geerse C., Stijnen J., Kolen B., 2007, Richtlijn normering compartimenteringskeringen, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (Stowa)
- Gemeente Haarlemmermeer, 2008, Woningvoorraad naar woningtype, woonkern en wijk (per 01-01-08), Ons-Haarlemmermeer.nl, bezocht op: 16-07-2008, Hoofddorp
- Gilding C.T., 2008, Onderzoek naar overstromingsrisico's in de veiligheidsketen, TU Delft, HKV Lijn in Water
- Grontmij, 2008, Versterking regionale waterkeringen, www.grontmij.nl/site/nl-nl/Werkvelden/Water/Waterbouw/Producten+en+diensten/Versterking+regionale+waterkeringen.htm, bezocht op: 06-03-2008
- Groot Zwaftink M.E., Dijkman M., 2007, HIS Schade en Slachtoffers Module (versie 2.4), gebruikershandleiding, Geodan
- Helmer J., Dijk C. van, 2007, Indirecte schade als gevolg van doorsnijding infrastructuur, Royal Haskoning
- Hoogheemraadschap van Rijnland, 2008a, Bestuurlijke Samenvatting, Ambitienota Water Beheer Plan 4, Leiden
- Hoogheemraadschap van Rijnland, 2008b, *Waterberging drie maal duurder dan gepland*, H2O, 2008, nr. 3, blz. 18
- Hoogheemraadschap van Rijnland, 2008c, Rijnland stelt zich voor, Rijnland.net, bezocht op 06-05-2008, Leiden
- HydroLogic, 2006, Memo voorstel modellering CIS, documentnr. 20061213, Amersfoort
- HydroLogic, 2007a, Calamiteiten Informatie Systeem, resultaten vanuit de GIS cliënt, Amersfoort
- HydroLogic, 2007b, Hoogheemraadschap van Rijnland, CIS modellering, achtergronddocument, Amersfoort
- HydroLogic, Onderzoek Bouwstenen overstromingsveiligheid Rijnland, Amersfoort, 2008
- Jansen P.C., Querner E. en Kwakernaak C., 2007, Effecten van waterpeilstrategieën in veenweiden gebieden, een scenariostudie in het gebied rond Zegveld, Alterra rapportnummer 1516, Wageningen
- Ketwich J.D.H. van, 2007, Calamiteitenbestrijdingsplan Waterkeringen (versie 3.0), Rijnland, Afdeling Bedrijfsvoering Watersystemen, Leiden
- Kok M., Huizinga H.J., Vrouwenvelder A.C.W.M., Barendregt A., 2005, Standaardmethode 2004 Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen, Rijkswaterstaat (RWS)
- Kolen B., 2007, Reader voor de introductiebijeenkomst Taskforce Management Overstromingen (TMO), HKV Lijn in Water
- Kronberger P., Pieterse N., Pols L., Tennekkes J., 2007, Overstromingsrisico als ruimtelijke opgave, Ruimtelijk Plan Bureau (RPB), Den Haag
- Leeuwe P.J.H. van, 2007, Waterbeheer en waterveiligheid, casestudie ten behoeve van het project veiligheid, Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR), Den Haag

- Messner F. en Meyer V., 2005, Flood damage, vulnerability and risk perception – challenges for flood damage research, Helmholtz-Centre for Environmental Research, UFZ Leipzig, Department of Economics
- Milieu- en Natuurplanbureau (MNP) en Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), 2004, Risico's in bedijkte termen, een thematische evaluatie van het Nederlandse veiligheidsbeleid tegen overstromen, Bilthoven
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK), directie Brandweer en Rampenbestrijding, 2000, Leidraad Maatrap, Ingenieurs/Adviesbureau SAVE & Adviesbureau Van Dijke
- Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. (NAM), 2005, Samenvatting bodemdaling door aardgaswinning, NAM-velden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe, Groningen
- Nederlands Instituut voor Fysieke Veiligheid (Nibra), 2003, Handboek Voorbereiding Rampenbestrijding, deel A: Rampenbestrijding (versie 1.0.0), documenten.werkenvoorveiligheid.nl/cms/show/id=578027, bezocht op: 11-11-2008
- Neelen & Schuurmans (N&S) Consultants BV, 2004, Onderzoek noodwaterkeringen Rijnland, 2^e concept, Bilthoven
- Nieuwenhuizen W., Wolfert H.P., Higler L.W.G., Dijkman M., Huizinga H.J., Kopinga J., Makaske A., Nijhof B.S.J., Olsthoorn A.F.M., Wosten J.H.M., 2003, Standaard methode schade aan LNC waarden als gevolg van overstromingen, Alterra, Wageningen
- Nirov, 2008, De Nieuwe Kaart van Nederland, Nieuwekaart.nl, bezocht op: 11-11-2008
- Oost J. en Hoekstra A., 2007, *Schadereductie door compartimentering in dijkkringgebied*, H2O, 2007, nr. 16, blz. 44-47
- Provincies Noord-Holland, Zuid-Holland en Utrecht, 2005, Veiligheidsnorm en overschrijdingsfrequentie conform IPO-richtlijn, kaart nr. 4a Rijnland
- Provincie Zuid-Holland, 2008, Memo Waterschappen Risicokaart Regionale Watersystemen
- Projectconsortium: Sterk Consulting, Bureau Buiten, HKV Lijn in Water, Leven met Water, STOWA, Hoogheemraadschap van Rijnland, Waterschap Brabantse Delta, Gemeente Rotterdam, 2006, MKBA in de Regio, Pilot KRW Haarlemmermeer
- Projectorganisatie HSL-Zuid, 1998, Tracébesluit Hogesnelheidslijn-Zuid, Tracédeel 1, Kaarten betreffende de Gemeente Haarlemmermeer
- Provincie Noord-Holland, Afdeling Zorg Welzijn en Cultuur, 2005, Adviesdocument eerste sessie, Ongelijkwaardige kruising?, Haarlem
- Rijkswaterstaat (RWS), 2005, Veiligheid Nederland in Kaart (VNK), hoofdrapport onderzoek overstromingsrisico's
- Robbemont C.A., 2007, Calamiteitenplan waterschap Hollandse Delta (versie 2.0), Waterschap Hollandse Delta
- Royal Haskoning, 2004, Startnotitie Milieu-effectrapportage Integrale inrichting Gouwe Wiericke west, ref. 9P3170/R00001/RS/Rott1
- Ruimtelijk Planbureau, 2002, Naar zee! Ontwerpen aan de kust, Den Haag
- Schiphol Group, 2008, Feiten & Cijfers Schiphol 2007, Schiphol.nl, bezocht op 11-11-2008
- Schiphol Group, 2007, Ruimtelijk Ontwikkelingsplan Schiphol 2015
- Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV), SWOV-Factsheet: waardering van immateriële kosten van verkeersdoden, Leidschendam, 2007
- Spijker M., Keulen M. van, Vendrik L., Graaf J. de, 2005, *Compartimentering boezem Amstel, Gooi en Vecht resulteert in aanzienlijke schadereductie*, H2O, 2005, nr. 3, blz. 33-36
- Stichting Militair Erfgoed Groot-Amsterdam, 2008, Stelling van Amsterdam, Stelling-Amsterdam.nl, bezocht op: 27-06-2008
- Terpstra S., Zbinden S., Knip C., Schunck R., 2007, Quick Scan Alternatieve Veiligheidsmaatregelen, Twynstra Gudde, Amersfoort
- Theunissen R., Kok M., Vrijling H., 2006, *Compartimentering van dijkringen: niet altijd de oplossing*, H2O, 2006, nr. 21, blz. 29-31,
- Tjalma J., Derksen S., 2007, Samenvatting Rapport Schiphol Vitaal, ADSE consulting and engineering, Hoofddorp
- Toerisme Noord-Holland, 2008, Weg- en waterbouwkundige bouwwerken, Noord-Holland-tourist.nl, bezocht op: 22-07-2008

- Unie van Waterschappen (UvW) en Interprovinciaal Overleg (IPO), 2004, Visie op regionale Waterkeringen, UvW, Den Haag
- Wouters K., 2005, Veiligheid Nederland in Kaart (VNK), Globale schadeberekening, Achtergronddocument, De benadering van de schade na een grootschalige overstroming met behulp van een globale methode, HKV Lijn in Water, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft
- Zantvoort M, Kruiningen F. van, Heggeler N. ten, Spijker M., 2008, *2D-modelleren waardevol voor regionaal waterbeheer*, H2O 2008, nr. 13, blz. 35 t/m 38

Lijst van tabellen

Tabel 1 Samenvatting resultaten huidige situatie per doorbraakscenario.....	14
Tabel 2 Resultaten schade en slachtofferberekening Secundaire kering	17
Tabel 3 Resultaten schade en slachtofferberekening Waardebescherming	18
Tabel 4 Resultaten schade en slachtofferberekening Retentiegebied	20
Tabel 5 Mobilisatietijd en sluitingsduur boezemcompartimenteringswerken (HL, 2007b).	21
Tabel 6 Resultaten schade en slachtofferberekening Boezemcompartimentering	23
Tabel 7 Resultaten schade en slachtofferberekening Waterloopcompartimentering in de polder	24
Tabel 8 Resultaten schade en slachtofferberekening Maatregelenpakket Schiphol	26
Tabel 9 Maatregelenpakket met schadevermindering per afzonderlijke maatregel en toewijzing aan doorbraak(zone).....	27
Tabel 10 Effecten Maatregelenpakket per doorbraak	28
Tabel 11 Schade als gevolg van overstroming infrastructurele lijnelementen (Dijkman en Groot Zwaaitink, 2007).....	35
Tabel 12 Beoordeling maatregel Gebiedscompartimentering	36
Tabel 13 Beoordeling gebiedscompartimentering strategie op basis van landgebruik	36
Tabel 14 Schade bij hoogwaardige en laagwaardige vormen van landgebruik (Dijkman en Groot Zwaaitink, 2007)	36
Tabel 15 Mogelijkheden Waterberging Retentiegebied (Consortium Bouwen met Water, 2007).	37
Tabel 16 Beoordeling maatregel Retentiegebied.....	38
Tabel 17 Beoordeling maatregel Boezemcompartimentering.....	41
Tabel 18 Beoordeling maatregel Waterloopcompartimentering in de polder	42
Tabel 19 Beoordeling maatregel Overstromingsbestendige inrichting.....	43
Tabel 20 Beoordeling maatregel Inzet Gemaal	43
Tabel 21 Begrippenlijst	57
Tabel 22 Nederlandse schade classificatie voor het HIS SSM (Wouters, 2005)	63
Tabel 23 Wijze van boezemcompartimentering per doorbraak	79
Tabel 24 Verschillen Bouwen met water en traditionele bouwwijze.....	81
Tabel 25 Gevoeligheidsanalyse modellering oppervlaktewater voor doorbraak in Gouda\Boskoop a) oppervlaktewater als no-data en b) oppervlaktewater opgenomen in AHN87	
Tabel 26 Gevoeligheid correctie streefpeil op hoofdwaterlopen AHN voor doorbraak 4 met Maatregelenpakket a) Correctie streefpeil -0.5 b) Correctie streefpeil -0.6 m.....	89
Tabel 27 Gevoeligheid van boezempeil voor doorbraaklocatie 42 en 31 a) Huidige Situatie met boezempeil op 0.35 m - NAP en b) toename boezempeil met 0.35 m naar 0.0 m NAP	90
Tabel 28 Gevoeligheid van schade ten aanzien van toekomstig landgebruik a) Huidige Situatie en b) met uitbreiding woningbouw	90
Tabel 29 Gevoeligheid resultaten voor 4 en 14 doorbraaklocaties a) Huidige Situatie b) met Maatregelenpakket	91
Tabel 30 Samenvatting gevoeligheidsanalyse.....	94

Bijlagen

A: Begrippenkader

Begrip	Omschrijving
<i>20 Ke-geluidscontour</i>	Binnen de 20 Ke-geluidscontour veroorzaakt door de Luchthaven Schiphol mag in principe geen nieuwbouw van woningen of andere geluidsgevoelige bestemmingen plaatsvinden.
<i>1D-model</i>	Een 1D-model simuleert de stroming in bijvoorbeeld een watergang in slechts één richting, de richting van de hoofdstroom. Stroming van het water dwars op deze hoofdstroom wordt niet meegenomen.
<i>2D-model</i>	Ruimtelijke 2D modellen kunnen uitkomst bieden, wanneer een overstroming diffuus over een oppervlak stroomt. Het water kan zich in 2 richtingen verplaatsen. Basis voor een 2D model vormt het AHN, deze bepaalt de stroming van het water over maaiveld.
<i>AHN</i>	Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN), aanduiding voor gegevens over de hoogteligging van een bepaald gebied.
<i>AHN-2 (project)</i>	De actualisatie van het hoogtebestand uit 2003 (AHN-1). Vanwege het gebruik van het hoogtemodel bij het beheer van waterkeringen en in het stedelijk gebied is bij de actualisatie van het AHN gekozen voor een hogere punt dichtheid (8-10 per m ²) dan in AHN-1. Voor een landsdekkend bestand is dit op dit moment het hoogst haalbare vanuit technisch en financieel oogpunt. (Data-ICT-Dienst RWS, 2008)
<i>Beheer</i>	Werksoort waarbij het gaat om het functioneren van de watersystemen in kwalitatieve en kwantitatieve zin in stand te houden.
<i>Beheersgebied</i>	Het gebied waarover in dit geval Rijnland het beheer voert.
<i>Bezwijken</i>	De dijk/waterkering kan de kerende functie niet meer vervullen. Dit kan verschillende oorzaken hebben. Van “nature” kunnen er een aantal bezwijkmechanismen optreden.
<i>Boezem</i>	Een stelsel van grotere wateren, rivieren en kanalen waarop het water van lager gelegen polders wordt uitgeslagen, ten behoeve van tijdelijke berging of lozing van buitenwater. De wateren en watergangen die deel uitmaken van een zelfde boezem, staan onder normale omstandigheden met elkaar in open verbinding. Boezemwateren hebben een hoger waterpeil dat de eromheen gelegen polder en zijn daarvan gescheiden door waterkeringen, de zogenaamde boezemkaden. De boezem speelt een cruciale rol in de aan- en afvoer van water, met name om wateroverlast te voorkomen en in droge tijden water van te voeren. Een groot deel van de boezemwateren heeft tevens de functie van vaarweg.
<i>Boezemkade</i>	Of: boezemwaterkering. Waterkering die in het algemeen direct langs boezemwater is gelegen en de lager gelegen polder bescherming biedt tegen (hoog) boezemwater. Het waterpeil in de boezem is doorgaans hoger dan het waterpeil in de polder.
<i>Boezemcompartimentering</i>	Waterloopcompartimentering van de boezem, met - in dit onderzoek - het primaire doel het beperken van de instroom van water uit de boezem waarvan één of meerdere kades bezweken zijn, door constructieve elementen in de waterloop te plaatsen.
<i>Bovenland</i>	Het hoger gelegen land.
<i>BWO</i>	Noodwaterkering ook wel damsluis genoemd; in het kader van de Wet Bescherming Waterstaatswerken in Oorlogstijd (BWO) o.a. in het beheersgebied van Rijnland aangebracht. Deze kunnen gebruikt worden ten behoeve van waterloopcompartimentering van vooral de

Begrip	Omschrijving
	boezems, maar in de HLM liggen er ook een aantal binnen de polder.
<i>Calamiteitenbestrijdingsplan</i>	Plan waarin de activiteiten ter bestrijding van een ramp/crisis/calamiteit zijn beschreven.
<i>CIS</i>	Calamiteiten Informatie Systeem (CIS), bibliotheek waarin binnen het beheersgebied van Rijnland ongeveer 400 (kade)doorbraak scenario's zijn opgenomen, waarmee het overstromingsbeeld na een doorbraak kan worden geanalyseerd.
<i>Compartimentering</i>	Het opdelen van een grote dijkkring in (een aantal) kleinere compartimenten of dijkkringen, om de gevolgen van een overstroming te beperken tot een kleiner gebied (gebiedscompartimentering) of het compartimenteren van een waterloop (zie waterloopcompartimentering)
<i>Dichtingsmateriaal</i>	Stortsteen of zgn. sandbags; materiaal waarmee een mobiele kering wordt gebouwd met als resultaat een waterloopcompartimentering.
<i>Dijkkring</i>	Een gebied dat door een stelsel van waterkeringen (dijken en kunstwerken) beveiligd moet zijn tegen overstromingen, in het bijzonder bij hoge stormvloed, hoge oppervlaktewaterstanden op de rivieren en IJsselmeer en combinaties hiervan. De dijkkringen zijn vastgelegd in de Wet op de Waterkering. Meestal wordt bedoeld: een door primaire dijken omsloten gebied. Een dijkkring kan echter ook uit regionale dijken bestaan, bijvoorbeeld de Haarlemmermeer boezem. Deze dijkkring van regionale dijken ligt meestal binnen een primaire dijkkring.
<i>Dijkkringgebied</i>	Gebied dat wordt omsloten door een dijkkring of hoge gronden.
<i>Doorbraakscenario</i>	Het optreden van een dijkdoorbraak op locatie X bij een gegeven waterstand Y leidend tot een overstroming van het aangrenzende gebied (overstromingsscenario)
<i>Economisch Risico</i>	Het bedrag dat over een lange termijn jaarlijks gereserveerd moet worden om in theorie de schade van overstromingen te dekken. Het economische risico kan worden berekend als de som (of ook wel de verwachtingswaarde) van de producten schade en overstromingskans van de verschillende overstromingsscenario's.
<i>EDO</i>	Ergst Denkbare Overstroming. EDO-scenario's zijn modelruns voortgekomen uit omstandigheden waarin de primaire waterkeringen met extreme belastingen te maken krijgen. Ze zijn opgesteld voor organisatorische voorbereiding voor een bovengrens in de omvang van de overstroming in onder andere het kustgebied (Kolen, 2007)
<i>Falen</i>	Overschrijden van de norm van een dijk/waterkering waarop deze is gedimensioneerd. Falen is het overschrijden van de norm. Dat wil niet zeggen dat de dijk/waterkering ook bezwijkt.
<i>Gebiedscompartimentering</i>	Compartimentering van een dijkkringgebied
<i>Gecombineerd overstromingsrisico</i>	Overstromingsrisico van primaire en secundaire keringen samen
<i>Gemiddelde gesommeerde overstromingsdiepte</i>	Overstromingsdiepte, berekend door het ingestroomde volume bij de bres te delen door het overstroomd oppervlak, waarin zich overlap bevindt.
<i>GIS</i>	Geografisch Informatie Systeem
<i>Groepsrisico</i>	Het groepsrisico is de kans (per jaar) dat een aantal personen gelijktijdig omkomt ten gevolge van een overstroming.
<i>Harde gevolgen</i>	Fysieke gevolgen (schade en slachtoffers) die de overstroming met zich meebrengt.
<i>Herstel</i>	Alle handelingen die nodig zijn om zo snel mogelijk de situatie te

Begrip	Omschrijving
	herstellen na een calamiteit. Verantwoording en zorg.
<i>Hoogwaardig landgebruik</i>	Vorm van landgebruik waarbij de directe, indirecte of schade door bedrijfsuitval relatief hoog is vergeleken met andere vormen van landgebruik (zie Tabel 14).
<i>Hoofdwatgang</i>	Een watgang aangelegd voor de waterafvoer, meestal in onderhoud bij een waterschap
<i>Huidige situatie</i>	Beschrijving van een toestand, waarbij bij het optreden van een boezemkadebreuk geen maatregelen worden getroffen om de overstroming als gevolg daarvan te beperken.
<i>Individueel risico</i>	Risico bestaande uit de kans dat een individu bij een overstroming om het leven komt.
<i>Kansrijk</i>	Het begrip kansrijk wordt gevormd door de score van afzonderlijke maatregelen die in combinatie met elkaar een effectieve maatregel kunnen vormen (afwegende het effect in schade en slachtoffers en de invloed op het primaire watersysteem)
<i>Initiële stroomsnelheid</i>	Stroomsnelheid in de boezem op het moment direct na de doorbraak
<i>Initiële toestand</i>	Situatie op het moment direct na de doorbraak
<i>Laagwaardig landgebruik</i>	Vorm van landgebruik waarbij de directe, indirecte of schade door bedrijfsuitval relatief laag is vergeleken met andere vormen van landgebruik (zie Tabel 14).
<i>Lijnvormige elementen</i>	Vormen van landgebruik waarbij de ene dimensie van het oppervlak de andere vele malen groter is dan de andere dimensie.
<i>Maalstop</i>	Bij een (selectieve) maalstop wordt het water uit een of meer polders niet meer naar de boezem gepompt, doordat er een of meer poldergemalen worden stopgezet. Het gevolg is dat er plaatselijk (meer) wateroverlast kan ontstaan. Een maalstop wordt ingesteld als bijvoorbeeld een boezemkade dreigt door te breken. Door het water uit de polder niet langer op de boezem af te voeren, wordt de boezemkade minder belast.
<i>Maatgevende omstandigheden</i>	Omstandigheden die statistisch gezien optreden bij de in de norm vastgelegde overschrijdingskansen.
<i>Maatgevende waterstand</i>	Waterstand die volgens statistische gegevens tijdens maatgevende omstandigheden optreedt, exclusief het effect van stroming en/of opwaaiing en eventueel andere waterstandverhogende oorzaken.
<i>Maatregelen</i>	Beheersactiviteiten die worden uitgevoerd ten behoeve van het functiehandhaving of gevolgbestrijding.
<i>Mobilisatietijd</i>	Tijd die benodigd is tussen de melding van een kadebreuk en de start van de uitvoering van de compartimentering
<i>Mobiele kering</i>	Noodwaterkering waarbij met stortsteen of andere materialen een boezem kan worden gecompartmenteerd.
<i>No-data</i>	Binnen een hoogtemodel bestaan data en no-data gridcellen. De no-data gridcellen zijn die cellen die buiten de inmeting, uitsnede van het te beschouwen gebied vallen of waaraan expliciet deze eigenschap is toegekend, zoals oppervlaktewater in het AHN van Rijnland (in het CIS). Door deze eigenschap toe te kennen laat Sobek deze cellen bij de berekening buiten beschouwing.
<i>Noodwaterkeringen</i>	De noodwaterkeringen bestaan uit BWO-keringen, mobiele keringen en Rijndijksluizen.
<i>Overschrijdingsfrequentie</i>	De inverse van de overschrijdingskansen.
<i>Overschrijdingskansen</i>	Veiligheidsnorm voor waterkeringen. Bevat de kans dat een bepaalde waarde, in dit geval de maatgevende waterstand, wordt bereikt of overschreden.
<i>Overstroming</i>	Daadwerkelijke verhoging van de waterstand met het effect dat de feitelijke bedding van het water sterk vergroot en dat de terreinen (achter de kering) die normaliter niet onder water staan nu wel onder water komen.

Begrip	Omschrijving
<i>Overstromingsbestendige inrichting</i>	Bepaalde configuratie van functies in een gebied die ervoor zorgt dat er geen of zeer weinig schade ontstaat bij fluctuatie van het waterpeil, als gevolg van bijvoorbeeld een overstroming.
<i>Overstromingskans</i>	Kans dat een gebied of bepaalde locatie overstroomt raakt.
<i>Overstroomd oppervlak</i>	Oppervlakte in m ² dat met een overstromingsdiepte >0 te maken krijgt. Op een aantal plaatsen in het gebied overlappen de overstromingsscenario's elkaar enigszins.
<i>Polder</i>	Een gebied waarvan de waterstand kunstmatig en onafhankelijk geregeld kan worden ten opzichte van de omgeving te verdelen in drie soorten: droogmakerijen, indijkingen en ontginningen.
<i>Preventie</i>	Risicoreducerende maatregelen
<i>Preparatie</i>	Maatregelen die getroffen worden om voldoende voorbereid te zijn op het daadwerkelijk bestrijden van een incident (plannen, opleiden en oefenen).
<i>Primaire Waterkering</i>	Waterkering, zoals aangegeven op Bijlage I bij de Wet op de waterkering, die beveiliging biedt tegen overstroming doordat deze ofwel behoort tot het stelsel dat een dijkkringgebied - al dan niet met hoge gronden - omsluit, ofwel vóór een dijkkringgebied is gelegen.
<i>Primaire Overstroming</i>	Overstroming veroorzaakt door het falen en/of bezwijken van primaire waterkeringen in het primaire watersysteem.
<i>Primaire Watersysteem</i>	Het samenhangende watersysteem van primaire watergangen en waterkeringen
<i>Proactie</i>	Structureel voorkomen van risicovolle activiteiten of situaties, ofwel de risico's of het ontstaan daarvan voorkomen
<i>Regionale Waterkering</i>	Secundaire waterkering ook wel niet-primair. Door Gedeputeerde Staten wordt vastgesteld welke niet-primaire waterkeringen worden aangemerkt als regionale kering en aan welke criteria de regionale keringen dienen te voldoen.
<i>Regionale Overstroming</i>	Overstroming als gevolg van bezwijken en/of falen van een regionale waterkering
<i>Regionaal Watersysteem</i>	Ook wel secundair watersysteem, het samenhangende watersysteem van regionale watergangen en waterkeringen.
<i>Repressie</i>	Het daadwerkelijk bestrijden van een incident. Het beperken en bestrijden van ongevallen en schade. Incident stabilisatie.
<i>Restrisico</i>	Bij een risicoanalyse een niet nader te definiëren, en veiligheidshalve nog aan te nemen resterend risico, na het elimineren resp. in aanmerking nemen van alle denkbare gekwantificeerde risico's.
<i>Retentiegebied</i>	In dit onderzoek ook wel noodoverloopgebied. (Deel van) een polder waarbij onafhankelijk van de omstandigheden gebiedsvreemd of – eigen water kan worden ingelaten, met als doel om lokale inundaties of overstromingen elders te kunnen voorkomen.
<i>Rijndijksluis</i>	Deze reeks van 40 compartimenteringswerken in de zuidelijke kade van de Oude Rijn vormt een doorgaande noodwaterkering van Katwijk aan Zee tot Bodegraven, waarmee het boezemgebied ten noorden van de Oude Rijn gescheiden kan worden van de zuidelijke Randstad.
<i>Schade</i>	Economisch waardeerbare productieverliezen, herstelkosten, e.d. voor burgers, ondernemers en overheid (in dit geval schade door hoogwateroverlast). Het HIS Slachtoffer en schademodel bevat zowel directe (materieel en bedrijfsuitval) als indirecte schade.
<i>Slachtoffer risico</i>	Het deel van het overstromingsrisico dat betrekking heeft op de slachtoffers als gevolg van overstroming.
<i>Sluitingstijd</i>	Tijd die benodigd is tussen de start van de uitvoering van de uitvoering van de boezemcompartimentering en het bewerkstelligen van de volledige afsluiting van de waterloop.

Begrip	Omschrijving
<i>Systeem risico</i>	Risico die een gehele samenleving kan platleggen in plaats van slechts een beperkt aantal slachtoffers treft
<i>Vaarweg/vaarwater</i>	Volgens de scheepvaartwet alle wateren die openbaar toegankelijk zijn voor vaartuigen. Waarbij het vaarwater het hele water omvat en de vaarweg het betonde gedeelte is waar gevaren kan worden.
<i>Veiligheidsnorm</i>	Eis waaraan een waterkering moet voldoen, aangegeven als de gemiddelde overschrijdingskans - per jaar - van de hoogste hoogwaterstand waarop de tot directe kering van het buitenwater bestemde primaire waterkering moet zijn berekend, mede gelet op overige het waterkerend vermogen bepalende factoren.
<i>Veiligheidsbenadering</i>	Wijze waarop met overstromingsrisico's wordt omgegaan. Nu: normen op basis van overschrijdingskansen van waterstanden.
<i>Ventielwerking</i>	Verschijsel waarbij door de beperkte capaciteit van een watergang er na een doorbraak van de boezem niet meer water uit de bres kan stromen, dan door de watergang zelf kan worden aangevoerd.
<i>Vlakdekkende elementen</i>	Vormen van landgebruik die grote oppervlakken omvatten, zoals landbouw, glastuinbouw en stedelijk gebied.
<i>Waterkering</i>	Kunstmatige hoogte en natuurlijke hoogten of hooggelegen gronden, vaak dijken, maar ook (dam)wanden, (keer)schuiven en sluisdeuren, die bescherming bieden tegen overstroming van lager gelegen gebieden.
<i>Waterloopcompartimentering</i>	Het compartimenteren van een waterloop ter voorkoming van uitwisseling van water tussen de compartimenten met als doel het tegengaan van de verspreiding van een overstroming of vervuiling (in een polder of in een boezem). Onder te verdelen in Waterloopcompartimentering in de polder en boezemcompartimentering.
<i>Waterschap</i>	Een instantie, overheidslichaam (net zoals bijv. een gemeente) met bijzondere taken in relatie tot water: zoals het zorgen voor het onderhoud van waterkeringen (dijken), het waterpeil en voor een goede waterkwaliteit. In west Nederland heten waterschappen ook wel Hoogheemraadschap.
<i>Watersysteem</i>	Een door stroming samenhangend geheel van grond- en oppervlaktewater, alsmede de daarbij horende levensgemeenschappen, kunstwerken, processen en relaties met de omgeving. Onder primair watersysteem wordt verstaan: het systeem van watergangen en keringen zoals aangewezen in de Wet op de Waterkering.
<i>Zachte gevolgen</i>	Beleving van de overstroming door burgers en getroffen. Mensen vinden het minder erg ook al is het netto gevolg hetzelfde, mensen vinden het ook minder erg als ze er wat aan kunnen doen (HL, 200

Tabel 21 Begrippenlijst

B: Veiligheidsketen

Maatregelen die genomen worden om risico's te beperken kunnen worden ondergebracht in de veiligheidsketen. Dit is een systematische benadering voor het omgaan met risico's en bestaat uit vijf schakels (Figuur 26)(Nibra, 2003). Deze vijf schakels worden hieronder in het kort toegelicht.

Proactie

Onder proactie valt het voorkomen van risicovolle situaties. In de vroegste fase van de planning worden maatregelen genomen om gevaren te voorkomen of vermijden. Een voorbeeld hiervan is de beleidslijn Grote Rivieren. Deze bindt de bebouwing in uiterwaarden aan regels, zodat bij een mogelijke overstroming het aantal slachtoffers en de schade zo klein mogelijk zijn.

Preventie

Preventie houdt het voorkomen van calamiteiten in. Ten eerste door bestaande risico's niet tot een werkelijke ramp uit te laten groeien. Bijvoorbeeld door waterkeringbeheer, dijkversterkingen of verhogingen. Ten tweede door de gevolgen, wanneer zich onverhoopt toch een ramp voordoet, te beperken. Bijvoorbeeld door een tussendijk aan te leggen (gebiedscompartimentering).

Preparatie

Dit is de voorbereiding op de bestrijding van een ramp. Deze voorbereiding is tweeledig. Het gaat op de eerste plaats om maatregelen die genomen worden om de effecten van een overstroming te verminderen. Op de tweede plaats betreft preparatie het nemen van voorbereidende maatregelen om in geval van een (dreigende) overstroming de negatieve effecten te beperken. Voorbeelden van maatregelen zijn het opstellen van plannen en risicokaarten, onderhoud van waarschuwingssystemen, zorg voor het juiste materieel op de juiste plaats, de bereikbaarheid van wijken en objecten, het opleiden en oefenen van hulpverleningsdiensten en het voorlichten van de bevolking. De fase komt overeen met coördinatiefase 3 van het calamiteitenplan Waterkeringen van Rijnland.

Repressie

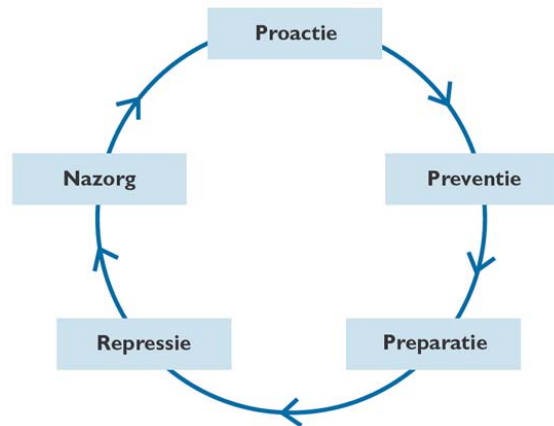
Het beperken en bestrijden van ongevallen en calamiteiten. Bij een overstroming omvat respons bijvoorbeeld het redden van slachtoffers, de evacuatie uit het rampgebied en het leegpompen van ondergelopen gebieden. Repressie leunt in eerste instantie op de in de preparatie schakel voorbereide maatregelen. De uitvoering van repressieve maatregelen kan worden vast gelegd in calamiteiten plannen. Overheden zijn daartoe verplicht (Robbemont, 2007). Daarnaast is het mogelijk aanvullende maatregelen uit te voeren, in het geval de repressieve maatregelen uit het calamiteitenplan niet voldoende blijken te zijn.

Nazorg

Alles wat nodig is om zo snel mogelijk naar de normale situatie en verhoudingen terug te keren. Bijvoorbeeld fysiek herstel van de infrastructuur, evaluatie van de repressiefase, afhandeling van schade en psychosociale zorg.

Indeling

Risico beperkende maatregelen kunnen worden ingedeeld in de bovengenoemde veiligheidsketen. Bij de indeling van de maatregelen in de 5 groepen van de veiligheidsketen kunnen verschillende criteria een rol spelen: bijvoorbeeld tijdstip, locatie en de ernst van de



Figuur 26 De veiligheidsketen (Nibra, 2003)

situatie (hoogwatersituatie of echte overstroming)(Gilding, 2008). De indeling is niet altijd even eenduidig. Het nemen van fysieke noodmaatregelen (dichten van de bres bij een dijkdoorbraak) is bijvoorbeeld een typisch repressie middel. De voorbereiding voor het plaatsen van dit materiaal (opslag van materiaal, contractvorming met uitvoerders) valt echter onder preparatie.

Focus

Dit onderzoek beschouwd fysieke maatregelen die erop gericht zijn om de gevolgen van een overstroming te verminderen. Deze maatregelen vallen in de categorie preventieve en repressieve maatregelen. Onder deze categorieën vallen ook waterbouwkundige maatregelen zoals dijkverhoging (vallende onder preventie, het verminderen van overstromingskans) en niet-waterbouwkundige maatregelen, zoals het instellen van een calamiteitenorganisatie (repressie). Buiten de preventie en repressie vallen maatregelen zoals het verplaatsen van functies (proactie), voorbereiding op een ramp, bijvoorbeeld het plaatsen van zandzakken op de boezemkades (preparatie) en afhandeling van schade (nazorg).

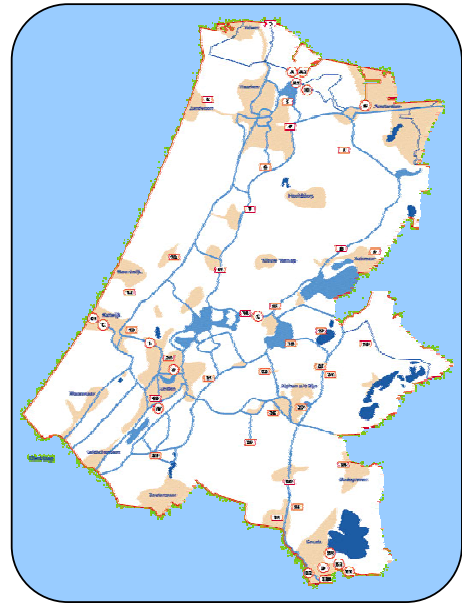
C: Het Hoogheemraadschap van Rijnland

Het Hoogheemraadschap van Rijnland (Rijnland) bestaat uit ongeveer 200 polders van klein (de Aderpolder) tot groot (de Haarlemmermeer polder). Het heeft zowel primaire als regionale waterkeringen in beheer in zowel landelijk als stedelijk gebied. Het gebied strekt zich uit van Wassenaar tot Amsterdam en van IJmuiden tot Gouda (zie Figuur 27). Het is 1100 km² groot en er wonen, werken, reizen en recreëren ruim 1,3 miljoen mensen. De lengte aan boezemkaden binnen het gebied bedraagt bijna 1000 km (Rijnland, 2008c). Gezien de omvang en verstedelijking van het gebied en de vele activiteiten die er plaats vinden is het gebied van grote economische waarde. Het gebied maakt deel uit van dijkkringgebied 14.

Sinds oktober 2006 is de Provinciale Verordening Waterkeringen West-Nederland van kracht. Deze verordening schrijft nieuwe en deels strengere veiligheidsnormen voor waaraan de regionale waterkeringen in 2020 moeten voldoen. Er worden normen gesteld aan de hoogte en stabiliteit, onder andere bepaald door maatgevende waterstanden. Rijnland zal naar schatting 300 km kade moeten verbeteren. Het zal vooral gaan om boezem- en polderkaden (Grontmij, 2008). Naast het op norm brengen van de keringen is het echter ook belangrijk om voorbij de norm te kijken. Want wat als het een keer misgaat? Waar ontstaat dan de schade, hoe groot is die en kunnen we die beperken? Rijnland heeft hier, als één van de weinige waterschappen in ons land, een onderzoek naar laten verrichten. Daarmee heeft Rijnland twee belangrijke punten met elkaar gecombineerd. Er gaat veel aandacht uit naar het beheer van de regionale waterkeringen waarbij ook de risicobenadering wordt toegepast.

Vanuit Rijnland bestond er na de eerder genoemde incidenten met regionale waterkeringen de behoefte om de gevolgen van kadedoorbraken binnen het eigen beheersgebied in kaart te brengen. Zij schakelde hiervoor HydroLogic in om een bibliotheek samen te stellen met 400 doorbraakscenario's, het zogenaamde Calamiteiten Informatie Systeem (CIS). In geval van een kadedoorbraak zijn deze scenario's direct beschikbaar. Het gedrag van het water kan dan direct worden voorspeld, zonder dat daarvoor eerst tijdrovende modelberekeningen uitgevoerd moeten worden (HL, 2007b). Rijnland was in eerste instantie vooral geïnteresseerd in het effect van de bestaande boezemcompartimentering op het overstromingsverloop. De resultaten van het project worden verwerkt in het Calamiteitenplan van Rijnland (van Ketwich, 2007).

De keringen binnen Rijnland moeten stabiel zijn: voldoende hoog en voldoende stevig. Rijnland heeft een proactieve houding ten aanzien van het beheersen van overstromingsrisico's van regionale waterkeringen. Daarbij kijkt ze niet alleen naar overstromingskansen maar ook naar overstromingsgevolgen van regionale waterkeringen. In de afgelopen jaren is het bewustzijn gegroeid dat stabiele keringen weliswaar een belangrijke, maar niet de enige schakel in de veiligheidsketen zijn. Tot nu toe zijn de activiteiten van Rijnland vooral gericht op proactie, preventie en ook op preparatie. In de planperiode van het Water Beheers Plan 4 (2010-2015) blijven proactie en preventie actueel, maar behoeven preparatie, respons en nazorg meer aandacht (Rijnland, 2008a). Op deze manier houdt zij rekening met het belang van regionale waterkeringen ten aanzien van overstromingsveiligheid. Bovendien creëert zij hiermee een robuuster watersysteem dan volgens de huidige normen nodig zou zijn.



Figuur 27 Projectgebied: het beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Rijnland (Rijnland, 2008c)

D: Sobek hydraulisch model

De overstromingsberekeningen voor de huidige situatie zijn gemodelleerd met het hydraulische model Sobek. De aannames en beperkingen die ten grondslag liggen aan de modellering zijn weergegeven in deze bijlage.

- Het model houdt geen rekening met een initiële bresgrootte en groei daarvan in de loop van de tijd. Met de vaste bresgrootte van 80 m, wordt vooral in het begin van modelberekening de instroom vermoedelijk overschat.
- De dijkdoorbraken zijn gemodelleerd door middel van een stuw en een tak die de polder instroomt. Per modelrun vindt slechts op één locatie een doorbraak plaats.
- Voor de berekening is uitgegaan van een boezemwaterstand van 0.35 m – NAP. Dit is een zeer hoge waterstand (worst case scenario), normaal ligt de waterstand voor de HLM boezem op 0.6 m – NAP.
- De huidige situatie is gemodelleerd met een tijdstap van 15 minuten. De totale duur van de simulatie bedraagt 2 dagen. Er wordt aangenomen dat er na 2 dagen in ieder geval maatregelen getroffen zijn die de uitstroom tot 0 m³/s reduceren.
- Bij de modelruns is gebruik gemaakt van een gecorrigeerd AHN. Het originele ingemeten AHN is gecorrigeerd ten behoeve van doorgangen zoals viaducten, fietstunnels, duikers etc die het overstromingspatroon beïnvloeden (Zantvoort et al, 2008). Aan de correcties liggen verschillende aannames ten grondslag en zijn verbeterpunten mogelijk (HL, 2007b).
- Het gecorrigeerde AHN is opnieuw gecorrigeerd aan de hand van de actuele situatie (zie Bijlage F)
- De Chézy-waarde heeft een beperkte invloed op het overstromingsbeeld (HL, 2007b) en wordt daarom constant verondersteld. $C = 45 \text{ m}^{0.5}/\text{s}$.
- De Liniedijk is gemodelleerd als een gesloten dijklichaam op 2 m – NAP, met alleen doorgangen in de Hoofdvaart, Slotertocht en IJtocht en de A4.
- Oppervlaktewater, anders dan de in het AHN opgenomen waterlopen, is in het AHN als no-data opgenomen (zie Bijlage A). Hierdoor is geen berging mogelijk op het oppervlakte-water.
- Bij de overstromingsberekening wordt er vanuit gegaan dat er verder geen andere keringen bezwijken. Alle gemodelleerde dijken en zandlichamen zijn daarom waterkerend. Deze aanname is vooral van belang bij gebiedscompartimentering berekeningen (zie Bijlage H). Compartimenteringsdijken kunnen in werkelijkheid bezwijken, waardoor de schade groter kan zijn (systeemwerking).
- In het Sobek-model zijn de Schipholtunnels (spoor en A4) niet meegenomen als modelementen. Er bestaat het vermoeden dat de tunnels tegen lokale overstromingen beveiligd zijn. Mocht dit niet het geval zijn dan moet rekening worden gehouden met het bergend vermogen van de tunnelbuizen (+/- 1 miljoen m³ voor de Schiphol spoortunnel). Eén en ander is geprobeerd te verifiëren bij Rijnland, Rijkswaterstaat, ProRail en Schiphol Group, maar zonder resultaat.

E: Schade- en Slachtoffermodule

Inleiding

Voor gebruik binnen Nederland is er een standaard model ontwikkeld voor het bepalen van schade en slachtoffers van overstromingen. Dit is de Schade- en Slachtoffermodule (SSM) die geïntegreerd is in het Hoogwater Informatie Systeem (HIS). De methode is door de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) geschikt geacht om op gestandaardiseerde wijze de gevolgen van overstromingen te bepalen. Ook binnen het project Veiligheid Nederland in Kaart wordt het HIS SSM gebruikt (RWS, 2005). In deze bijlage is achtergrond informatie over het HIS SSM terug te vinden en zijn enkele belangrijke aannames en beperkingen van het model opgenomen.

Classificatie

Binnen het HIS SSM wordt gewerkt met de volgende schade indeling:

Directe schade (materieel): Onder directe materiële schade wordt de schade verstaan die optreedt aan objecten, kapitaalgoederen en roerende goederen vanwege het directe contact met water. Hiertoe behoren:

- Herstelschade aan onroerende goederen in eigendom of huur: erven en opstallen.
- Herstelschade aan productiemiddelen, zoals machinerie, apparatuur, procesinstallaties en transportmiddelen.
- Schade aan inboedels.
- Schade door het verloren gaan van roerende goederen, zoals grondstoffen, hulpstoffen en producten (inclusief schade aan oogst).

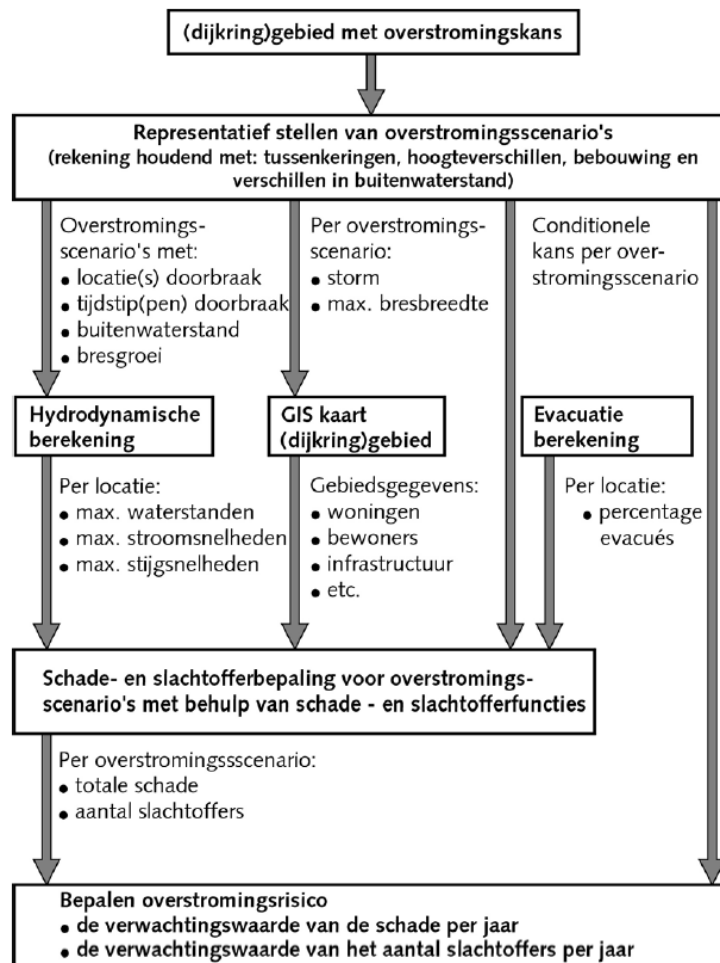
Directe schade (door bedrijfsuitval): De tweede categorie directe schade is gedefinieerd als de schade vanwege bedrijfsuitval, d.w.z. de zakelijke verliezen door productiestilstand.

Indirecte schade: De indirecte schade bestaat uit de schade bij toeleverende en afnemende bedrijven buiten het overstroomde gebied, en reistijdverlies door uitval van (spoor)wegen in het overstroomde gebied.

De hierboven geformuleerde indeling is hieronder weergegeven in Tabel 22. Daarbij is ook aangegeven welke schades op dit moment monetair waardeerbaar zijn (vetgedrukt) en welke niet (Groot Zwaartink et al., 2007). Daarnaast is ook nog een categorie geïnduceerde schade opgenomen. Omdat in het schademodel de maatschappelijke welvaart centraal staat, vallen effecten van overstromingen, zoals stress, leed en trauma's buiten het model. Bij deze effecten ontbreekt namelijk een directe relatie met schaarse goederen (Evenhuis et al., 2007).

Tabel 22 Nederlandse schade classificatie voor het HIS SSM (Wouters, 2005)

	Monetair waardeerbaar	Niet-monetair waardeerbaar
Directe schade	Kapitaalgoederen: onroerende en roerende goederen	Slachtoffers (aantal doden, gewonden en dood vee) Ecosystemen Verontreiniging oppervlaktewater Historische monumenten en culturele waarden
Directe schade (bedrijfsuitval)	Productieverlies inkomstenderving Schoonmaakkosten	Welzijn en sociale ontwrichting Schade t.g.v. schade aan 'hotspots'
Indirecte schade	Verstoring productieproces buiten overstromingsgebied Reistijdverlies door uitval van (spoor)wegen in het overstroomde gebied (Nood)hulp	Schade voor de overheid
Geïnduceerde schade, (uit een klein aantal gegevens een algemene regel afleiden)		Ontwrichting door evacuatie



Figuur 28 Stappenplan HIS SSM (Kok et al., 2005)

Werkwijze

Het HIS SSM kan met behulp van een stappenplan worden gepresenteerd (zie Figuur 28). Een aantal stappen uit het stappenplan worden nader toegelicht.

Schade

Een onderdeel van het hierboven weergegeven stappenplan is het bepalen van de schade en het aantal slachtoffers. In het HIS SSM leiden gegevens over het bodemgebruik, resultaten uit overstromingsberekeningen en de schadefuncties tot een ruimtelijk schadebeeld. Bij deze schadebepaling worden er 4 stappen genomen, deze stappen zijn hieronder verder uitgewerkt.

1. Bepalen van het overstromingsscenari'o: de schadebepaling wordt gestart met gegevens over de overstromingsdiepte. Deze gegevens kunnen

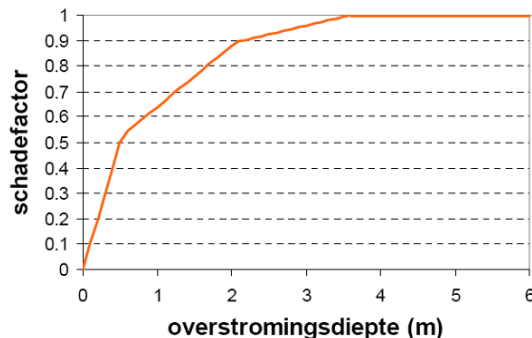
worden afgeleid uit een overstromingsscenario die met behulp van een globale of een gedetailleerde aanpak is opgesteld. Bij de gedetailleerde methode worden resultaten uit het hydrodynamisch model Sobek 1D-2D gebruikt als input.

2. Bepaling van het grondgebruik: voor Nederland zijn de verschillende bodem gebruiksvormen in kaartvorm beschikbaar. Gegevens over extensieve gebruiksvormen, zoals landbouw zijn beschikbaar gesteld door het CBS en worden weergegeven in oppervlakte eenheden. Infrastructuur, wegen en spoorwegen, zijn in lengte eenheden opgenomen. Voor huizen wordt een meer specifieke benadering gehanteerd. De waarde per huishouden wordt afgeleid van het woningtype, waarvan er 5 zijn gedefinieerd. Voor het berekenen van de schade voor bedrijven wordt gebruik gemaakt van een bedrijvenbestand waaruit het type bedrijf en het aantal werknemers worden afgeleid. Alle informatie over landgebruik wordt getransformeerd naar een 100x100 grid. Deze gridgrootte wordt gebruikt bij de uiteindelijke schadeberekening.

3. Voor alle soorten grondgebruik zijn schadefuncties gedefinieerd (zie Figuur 29). Elke schadefunctie bestaat uit een maximaal schadebedrag en een schadefactor (zie Vergelijking 1). Het maximale schadebedrag is de maximale schade die bij een overstromingsscenario kan optreden. De schadefactor is een getal tussen 0 en 1. In Vergelijking 1 is een voorbeeld opgenomen van een schadefunctie, die afhankelijk is van de overstromingsdiepte.

Vergelijking 1
$$S = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot n_i \cdot S_i$$

- α schadefactor categorie i , is afhankelijk van de overstromingsdiepte, volgens een voor elke schadecategorie specifieke schaderelatie. (Wouters, 2005)
- n aantal eenheden in categorie i
- n_i eenheid (gridcel) met categorie i
- S maximale schade per eenheid in categorie i



Figuur 29 Schadefunctie voor landbouw en recreatie (Kok et al., 2005)

4. De schade wordt uiteindelijk berekend door per bodemgebruik in een rekencel de overstromingsdiepte, stroomsnelheid en de schadefunctie met elkaar te combineren (RWS, 2005).

Slachtoffers

Een ander onderdeel van het HIS SSM is de Slachtoffer Module. In de huidige opzet van het HIS SSM worden de slachtoffers (doden) die vallen door overstromingen niet gemonetariseerd. Hoewel dit in andere disciplines zoals de verkeersveiligheid inmiddels wel gebeurt (SWOV, 2007) achtte de Deltacommissie de schade door verlies aan mensenlevens, menselijk leed en desorganisatie niet in geld uit te drukken (van Leeuwe, 2007). Daarom vormt de slachtoffer berekening een apart onderdeel van het HIS SSM. Factoren in het HIS SSM die van invloed zijn op het aantal slachtoffers zijn overstromingsdiepte, stijgsnelheid, stroomsnelheid en de evacuatiefractie. Methoden voor het bepalen van het aantal gewonde personen, het aantal dode en getroffen dieren onder het vee zijn niet opgenomen in de Standaardmethode.

Het aantal slachtoffers wordt in de Standaardmethode berekend met behulp van de factor f . Dit is het deel van de mensen dat niet gered wordt bij snelle overstroming. Er wordt onderscheid gemaakt in drie situaties waarvoor een aparte schadefunctie geldt. Schadefunctie 1 geldt voor die gebieden met een grote stroomsnelheid. Als gevolg van grote stroomsnelheden kunnen slachtoffers vallen doordat gebouwen waarin zij zich bevinden instorten. Schadefunctie 2 geldt voor de gebieden waar de stijgsnelheid groter is dan 0.5 m/uur en de

overstromingsdiepte groter is dan 1.5 m. Als gevolg van snel stijgend water zullen mensen niet meer in staat zijn om te vluchten naar hogere gronden. De laatste functie, afhankelijk van de overstromingsdiepte, geldt voor de overige gebieden. Onder overige gebieden wordt verstaan, gebieden waar slachtoffers niet vallen door grote stijg- of stroomsnelheden, maar wel als gevolg van bijvoorbeeld onderkoeling, vermoeiing of doordat mensen beknelde raken. Voor overstromingen als gevolg van doorbraak van regionale keringen speelt vooral de laatste slachtofferfunctie een rol. Voor elke gridcel geldt slechts één schadefunctie. Uit het model is niet af te leiden waar exact de slachtoffers vallen. Het aantal slachtoffers is een optelling van gebroken getallen in bepaalde cellen.

Uitgangspunten

Bij de schade- en slachtofferberekeningen met het HIS SSM zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd (Kok et al., 2005).

- Bij de schade- en slachtoffer berekening is uitgegaan van de Standaardmethode 2007 (Groot Zwaartink en Dijkman, 2007).
- Voor indirecte schade wordt een reductie van de schade met factor 0.25 toegepast. Voor de schaderelaties voor directe schade en schade ten gevolge van bedrijfsuitval wordt een factor van 1 gehanteerd.
- Hoogbouw is veilig verondersteld. Bewoners van de 4e verdieping van een gebouw en hoger, worden niet gerekend tot de potentiële slachtoffergroep.
- De schade wordt berekend aan de hand van het prijspeil van 2008, de daarbij aangenomen jaarlijkse inflatie bedraagt 2%.
- De Sobek modelberekeningen zijn uitgevoerd met een 25x25m grid. De berekeningen zijn ten behoeve van het HIS SSM handmatig opgeschaald naar een 100x100 m grid. Hierbij is gebruik gemaakt van de nearest neighbour techniek. Dit is een standaard GIS bewerking, waarbij de waarde voor de output pixel berekend wordt aan de hand van de 4 dichtstbijzijnde pixels gebaseerd op de gewogen afstand tussen deze pixels.
- Er is gebruik gemaakt van de volgende invoerbestanden:
 - Opgeschaalde gecorrigeerde maximale waterdiepte per cel.
 - Opgeschaalde maximale stroomsnelheden per cel.
 - Opgeschaalde maximale stijgsnelheden.
- De uitvoerbestanden uit Sobek betreffende de maximale waterdiepte per cel zijn gecorrigeerd voor de hoofdwaterlopen. In de landgebruikkaart van het HIS SSM zijn de hoofdwaterlopen niet als oppervlaktewater opgenomen. Het HIS SSM maakt daardoor geen onderscheid in waterdieptes op het land en waterdieptes in de waterlopen. Het verschil tussen beide waterdieptes is dat bij een waterdiepte > 0 m op het land schade optreedt, maar dat dit bij een waterdiepte > 0 in de waterlopen niet het geval is. Vanwege dit onderscheid is voorafgaand aan alle schadeberekeningen het overstromingsbeeld gecorrigeerd voor de waterlopen. Bij deze correctie is aangenomen dat de schade door stijging van het peil in de waterlopen verwaarloosbaar is.
- De mogelijkheden die evacuatie van de inwoners kan bieden op het aantal slachtoffers is in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. Het aantal slachtoffers is dan ook gebaseerd op een situatie zonder evacuatie. Hierdoor wordt de schade aan vervoermiddelen enigszins overschat in geval er wel evacuatie plaats vindt. De schade aan vervoermiddelen bedraagt maximaal minder dan 1% van de totale schade. Bij totale evacuatie vervalt deze schade.
- De schadefuncties en maximale schadebedragen zijn voor geheel Nederland gelijk. Dit houdt in dat, bij gegeven hydraulische condities, de schade aan een huis in Limburg gelijk is aan de schade van een identiek huis in het midden van Nederland. In werkelijkheid is dit niet zo.
- Er wordt in de modellering nog geen onderscheid gemaakt tussen de schade in hoog of laag frequent overstromende gebieden: alle functies en schadebedragen gelden voor laagfrequent overstromende gebieden
- In de schadeberekeningen is geen onderscheid gemaakt tussen overstromingen met zoet water en zout water. Wegens gebrek aan gegevens is aangenomen dat de gevolgen van beide typen overstromingen niet significant van elkaar verschillen. Geen van beide

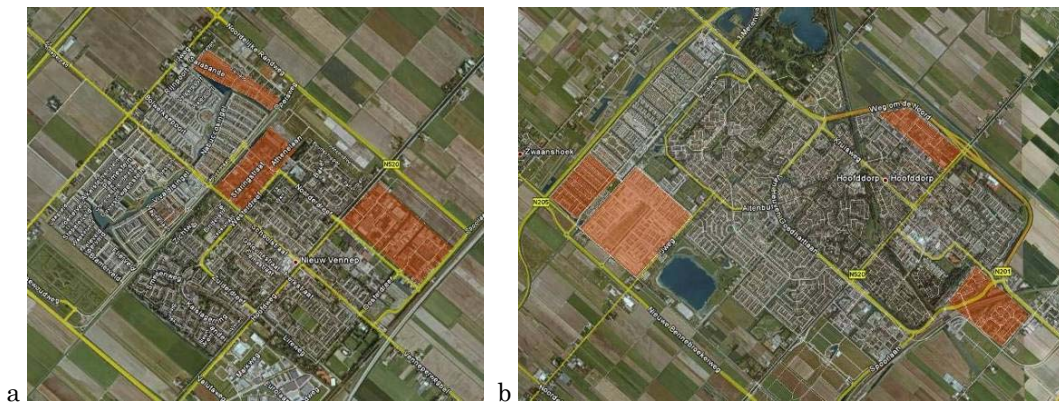
situaties zijn dan ook genomen als uitgangspunt voor de schadeberekening (Briene et al., 2002). Vooral de schade aan landbouw is bij overstroming met zout water groter.

- De maximale schadebedragen zijn gebaseerd op vervangingswaarde of herbouwwaarde
- De bestedingsimpuls en de baten die zich zouden voordoen na het optreden van een overstroming (doelmatige ruimtelijke ordening, aanschaf nieuwe kapitaal goederen) worden buiten beschouwing gelaten (Evenhuis et al., 2007).
- Hoewel er op papier een uitbreidingsmodule voor landbouw, natuur en cultuur (LNC) voor het HIS SSM bestaat (Nieuwenhuize et al., 2003), is dit (softwarematig) nog niet in het model opgenomen.

Beperkingen

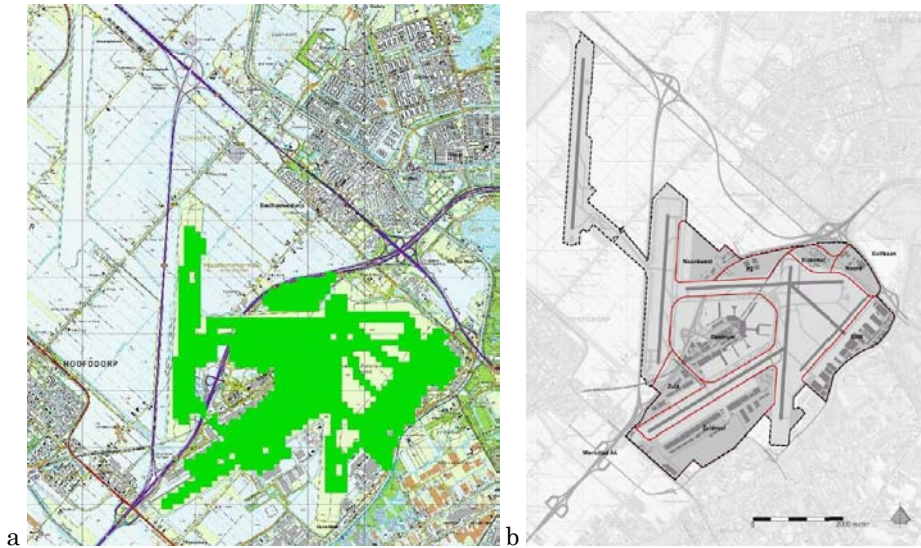
Gebruik van het HIS SSM voor de HLM levert enkele specifieke beperkingen op die voor een groot deel te wijten is aan het feit dat de landgebruikkaarten verre van actueel zijn. Dit leidt op verschillende onderdelen tot een onderschatting van de potentiële overstromingsschade.

- In de Standaardmethode wordt de Centraal Bureau Statistiek (CBS) kaart voor bodemgebruik uit 2000 gebruikt. De potentiële schade in de HLM is de laatste jaren toegenomen. Door gebruik van verouderde bodemgebruikkaarten wordt de schade voor bepaalde functies bij overstroming sterk onderschat.
- Bovenstaande heeft tot gevolg dat de schade aan stedelijk gebied wordt onderschat. Een aantal woonwijken die, als gevolg van de geselecteerde kadedoorbraken, met overstromingen te maken krijgen, zijn niet in de landgebruikkaart opgenomen (zie Figuur 30a en b).



Figuur 30 Ontbrekende woonwijken in CBS 2000 kaart te a) Nieuw Vennep en b) Hoofddorp (GoogleEarth)

- De Hoge Snelheidslijn (HSL) is niet in de Spoorwegenkaart van het HIS SSM opgenomen, wat een onderschatting van de schade aan deze infrastructuur met zich meebrengt (zie Figuur 36). De lengte van het tracé in de HLM bedraagt ongeveer 10 km (Projectorganisatie HSL Zuid, 1998). Een deel van het traject is verhoogd aangelegd.
- De uitbreiding van Schiphol met de Polderbaan (2002) is niet in het bodemgebruikbestand opgenomen. De Polderbaan betekende een uitbreiding van ongeveer 7% op het totale oppervlak (Schiphol Group, 2008). De contouren van Schiphol zoals deze in het model zijn opgenomen, vergeleken met de huidige situatie is weergegeven in Figuur 31a en b.
- In het HIS SSM is geen tijdsafhankelijke schadefunctie opgenomen. Dit is vooral voor de schade aan een bedrijf als Schiphol een belangrijke factor. Hier is de tijd vermoedelijk een veel belangrijkere factor dan de overstromingsdiepte.
- Ruimtelijke ontwikkelingen in de toekomst kunnen alleen met het HIS SSM worden gemodelleerd als daarvoor kaarten in de goede format beschikbaar zijn.



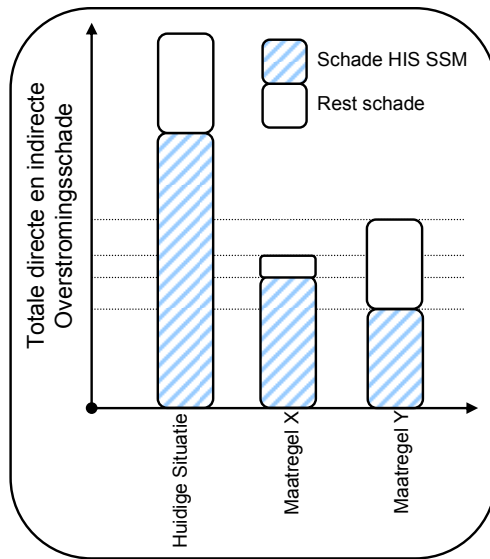
Figuur 31 Schiphol in a) CBS bodemgebruikskaart vanuit HIS SSM (groen) en b) op plangebiedskaart (Schiphol Group, 2007)

- Als gevolg van de overstroming zal de waterstand in de HLM-boezem een abrupte daling ondergaan. Hierdoor kan schade aan boezemstelsel en bovenland ontstaan door instabiliteit van de beschoeiingen en kades. Het HIS SSM houdt met deze schade geen rekening. Deze schade wordt voor een deel bepaald door de grondsoort waaruit de boezem is opgebouwd. De invloedssfeer bij aanwezigheid van veen is het grootst en bij klei het kleinst. Belangrijk is ook de aanwezigheid van beschoeiing. Veelal is deze waterdicht waardoor bij daling van de waterstand op de boezem de kade door waterdruk kan bezwijken. Als er bebouwing in de directe nabijheid van de boezem aanwezig is, zal de omvang van de schade voor een belangrijk deel worden bepaald door het verzakken of instorten van bebouwing. Bij 1 m waterstanddaling bedraagt de schade voor de HLM € 1.3 miljoen/km, bij volledige leegstroom van de boezem € 689 miljoen (N&S Consultants, 2004).
- Alle overige aannames en beperkingen zijn terug te vinden in diverse achtergronddocumenten van het HIS SSM (Kok et al., 2005)(Briene et al., 2002)(Groot Zwaartink en Dijkman, 2007).

Effect analyse

Maatregelen zijn gekozen op basis van de op te leveren schade- en slachtoffer vermindering uit het HIS SSM en het verwachte effect op overstromingen vanuit het primaire watersysteem. Het HIS SSM is helaas niet volledig voor wat betreft de schadebepaling. Een aantal schadecategorieën wordt niet meegenomen in het HIS SSM. Er is altijd een bepaald deel van de totale schade, dat niet tot uiting komt in de met HIS SSM gemodelleerde schade. Na het nemen van schade beperkende maatregelen kan de verhouding tussen de met HIS SSM en niet met HIS SSM te bepalen schade zijn veranderd. Beoordeling van de schadevermindering op basis van alleen de resultaten uit het HIS SSM kan dan ook leiden tot een vertekend beeld.

De schade uit het HIS SSM kan na implementatie van een maatregel afnemen, maar dit zegt niets over wat er gebeurt met de schade die buiten deze schadeberekening valt. De bij de maatregel boezemcompartimentering met het HIS SSM gemodelleerde schade wordt door het beperken van de instroom minder. De niet met HIS SSM te berekenen schade (restschade) neemt, door het beperken van het traject waar waterstanddaling in de boezem optreedt, ook af. Dit is echter niet bij elke maatregel het geval (zie Figuur 32). Vergelijk in de figuur maatregel X (bijvoorbeeld boezemcompartimentering) met maatregel Y, een maatregel waarbij de restschade ten opzichte van de Ausgangssituatie veel minder afneemt. Het puur op basis van de schade uit het HIS SSM vergelijken van beide maatregelen zou een vertekend beeld geven.



Figuur 32 Vergelijking effect van maatregelen op HIS SSM schade

indirecte schades. Bijvoorbeeld voor de schade als gevolg van bedrijfsonderbreking. De berekende overstromingsdiepte zal hier niet de meest belangrijke factor zijn. Bij bedrijven zal voor een goede schadeberekening de duur van de overstroming een grotere factor moeten spelen (Meyer en Messner, 2005).

Een andere grote onzekerheid die ten grondslag ligt aan schadeberekeningen met het HIS SSM is het opstellen van overstromingsscenario's. De keuze van deze doorbraaklocaties kan erg bepalend zijn voor de optredende schade, vooral in grotere dijkringen.

In het HIS SSM zijn een aantal schadeposten die in geld uitgedrukt zouden kunnen worden, nog niet meegenomen. Indirecte kosten zoals herhuisvesting zijn in de module in beperkte mate meegenomen. De overstromingen in New Orléans hebben aangetoond dat de kosten van schoonmaak, redding en herstel van waterkeringen belangrijke schadeposten zijn. In het HIS SSM ontbreken deze posten voorsnog. Het HIS SSM geeft daarom waarschijnlijk een onderschatting van de schade (Kok et al., 2006)(Evenhuis et al., 2007). Min of meer dezelfde conclusie kan naar aanleiding van de schadebepaling van de kadedoorbraak in Wilnis worden getrokken. Als gevolg van de doorbraak bedroeg de herstelschade aan het boezemsysteem en het bovenland een substantieel deel van de totale schade (Stowa, 2005). Dit betreft schade als het inzakken van buitentaluds, stremming van de water af- en aanvoer en de scheepvaart en schade aan bebouwing en infrastructuur ten gevolge van zetting. Juist voor veengebieden geldt dat een snelle daling van de boezemwaterstand aanzienlijke schade in het bovenland kan veroorzaken.

Schiphol in het HIS SSM

De schade aan Schiphol bepaald voor een belangrijk deel de schade voor doorbraak 32 en 4 in de HLM. Daarom is gekeken hoe de modellering van de schade aan vliegvelden in het HIS SSM tot stand komt. Deze berekening is geverifieerd bij de bedrijfsvoering van Schiphol, maar zonder bevredigend resultaat. Informatie hierover is niet beschikbaar of is geheim (Tjalma en Derksen, 2007)(Koelemeijer, 2008).

De overstromingsschade voor Schiphol wordt bij de berekening onderverdeeld in schade door bedrijfsuitval en directe schade. Hieronder worden deze twee componenten toegelicht. Het gaat hier om het maximale schadebedrag voor deze gebruiksfunctie. Het werkelijke bedrag per

Conclusie

Het HIS SSM heeft het voordeel dat voor heel Nederland een model beschikbaar is dat gemakkelijk kan worden toegepast in verschillende situaties. De standaard (100x100m) komt de nauwkeurigheid op kleinere schaal op sommige punten niet ten goede (Meyer en Messner, 2005).

De basis van de ontwikkelde schadefuncties vormen schadedata en ervaringen van experts. Omdat overstromingen in Nederland nauwelijks voorkomen bestaan er relatief weinig data. Dit is een beperking in de gegevens die ten grondslag liggen aan het model.

Een andere tekortkoming in het licht van andere schademodellen is het feit dat dezelfde schadefuncties zijn gebruikt voor de berekening van directe schade als voor de berekening van

gridcel is afhankelijk van de in het HIS SSM gedefinieerde overstromingsdiepte afhankelijke schadefunctie voor vliegvelden. In de directe schade is alleen de materiële schade aan vliegtuigen en weginfrastructuur beschouwd. Mogelijke overstromingsschade aan technische installaties en andere infrastructuur ten behoeve van communicatie op het vliegveld wordt niet in de schadeberekening meegenomen. Naar aanleiding van diverse interviews bestaat er de verwachting dat deze niet overstromingsbestendig zijn ontworpen, zodat dit een verdere onderschatting van de schade met zich mee kan brengen.

Bedrijfsuitval

De indirecte schade wordt bepaald aan de hand van de omzet van het vliegveld. De oppervlakte van Schiphol is 1 594 ha. Als we deze oppervlakte relateren aan de omzet, dan is op die manier de omzetderving te bepalen. De omzet van Schiphol in 1999 was € 575 miljoen. Per ha krijgen we dan een omzetderving van € 360 680 per ha voor Schiphol (Briene et al., 2002). Door correctie in verband met inflatie wordt er in het HIS gerekend met € 431 046 per ha. Er wordt verondersteld dat het deel van Schiphol dat overstroomd een jaar geen omzet zal draaien. Sinds 1999 heeft Schiphol echter uitgebreid en de jaarlijkse omzet is behoorlijk gestegen. De waarde per ha is toevallig bijna gelijk gebleven € 419 420 per ha.

Direct

Voor het bepalen van de directe schade aan vliegvelden maken is een onderscheid gemaakt in directe schade aan de infrastructuur en directe schade aan de vliegtuigen. De gemiddelde aanlegkosten per hectare zijn gebaseerd op gegevens over de kosten voor wegconstructies voor hoge belasting. Voor de aanlegkosten van vliegvelden kunnen deze kosten gebruikt worden. Deze kosten liggen tussen de € 550 000 à € 750 000 per hectare, gemiddeld € 650 000 per ha.

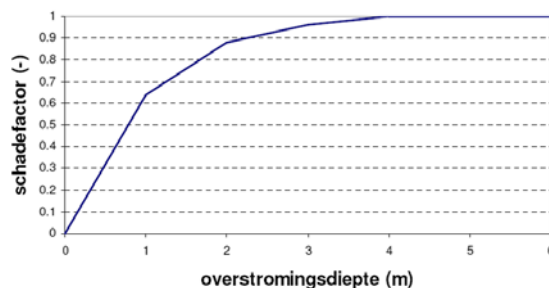
Naast de schade aan infrastructuur zal schade ontstaan aan vliegtuigen. Voor het bepalen van de directe schade aan de vliegtuigen zijn gegevens nodig over:

- de gemiddelde vervangingswaarde per vliegtuig
- het gemiddeld aantal vliegtuigen dat op enig moment op een vliegveld aanwezig is
- het percentage vliegtuigen dat tijdig kan worden geëvacueerd.

Verondersteld wordt dat 25% van de op het vliegveld aanwezige vliegtuigen niet geëvacueerd kan worden. Voor Schiphol zal het 37 vliegtuigen betreffen, met een gezamenlijke waarde van € 872 100 000. Dit komt neer op een bedrag van € 547 000 per hectare vliegveld.

Totaal

De totale directe maximale schade voor Schiphol komt hiermee op € 1.2 miljoen per ha vliegveld (Helmer en van Dijk, 2007). In Figuur 33 is de schadefunctie voor vliegvelden weergegeven. Schade door bedrijfsuitval kent dezelfde functie als de directe schade.



Figuur 33 Schadefunctie voor vliegvelden (Groot Zwaartink en Dijkman, 2007)

F: Hoogtemodel

Een hoogtemodel vormt de basis voor een overstromingsberekening met Sobek. Om de rekentijd te beperken is in het CIS gerekend met twee 25x25m hoogtemodellen (Noord- en Zuid-Rijnland). In het noordelijk hoogtemodel bevindt zich de HLM. In het CIS is een gecorrigeerde hoogtekaart van de HLM opgenomen (HL, 2007b). Het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) uit 1997-1998 heeft hiervoor als input gediend. In 2008 is Rijnland opnieuw ingemeten, maar ten tijde van het onderzoek was deze data nog niet beschikbaar (Data-ICT-Dienst RWS, 2008).

Gridgrootte

Omdat de HLM veel kleiner is dan Noord-Rijnland zou het voor wat betreft de rekentijd geen probleem moeten zijn om hier wel met een 5x5m hoogtemodel te rekenen. Het 25x25m hoogtemodel is verkregen door het ingemeten AHN 5x5m hoogtemodel op te schalen. Dit 25x25m hoogtemodel is vervolgens gecorrigeerd. Van het 5x5m hoogtemodel is hierdoor geen gecorrigeerd model beschikbaar. Hierdoor is uiteindelijk toch voor het rekenen met een 25x25m hoogtemodel gekozen.

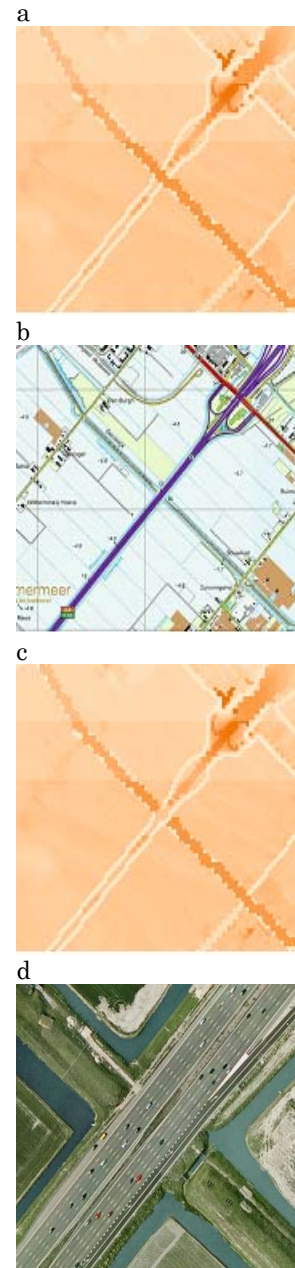
Waterlopencorrectie

Het is belangrijk om de belangrijkste waterlopen in het gebied te modelleren. Het water verspreid zich bij een doorbraak namelijk veel sneller door een systeem van waterlopen dan over land. De hoofdwatgangen binnen de HLM zijn in 2D gemodelleerd. Het opschalen van het 5x5m tot het 25x25m model leidt op een aantal plaatsen tot overschatting van de bergingscapaciteit van de waterlopen. Door het opschalen krijgen de hoofdwatgangen van minder dan 25 m breedte namelijk een breedte van 25 m. De maximale breedte van de waterlopen in de HLM is 25 m (de Hoofdvaart). Om de overschatting van de bergingscapaciteit te verminderen is het streefpeil van de hoofdwatgangen met -0.5 m gecorrigeerd (zie Bijlage H). Alleen de hoofdwatlopen zijn gemodelleerd. De bergende capaciteit en het transport door lokale waterlopen (sloten en greppels) wordt verwaarloosd. Door de opschaling van het 5x5m AHN zijn de kleinere watgangen (sloten) uit het AHN verdwenen.

Correctie Polderbaan en Liniedijk

Door de toch enigszins gedateerde informatie hebben enkele aanvullende correcties op het AHN plaats gevonden om zo goed mogelijk de werkelijke situatie te kunnen nabootsen. Op het in het CIS gebruikte AHN (HL, 2007b) zijn daarom een tweetal correcties uitgevoerd.

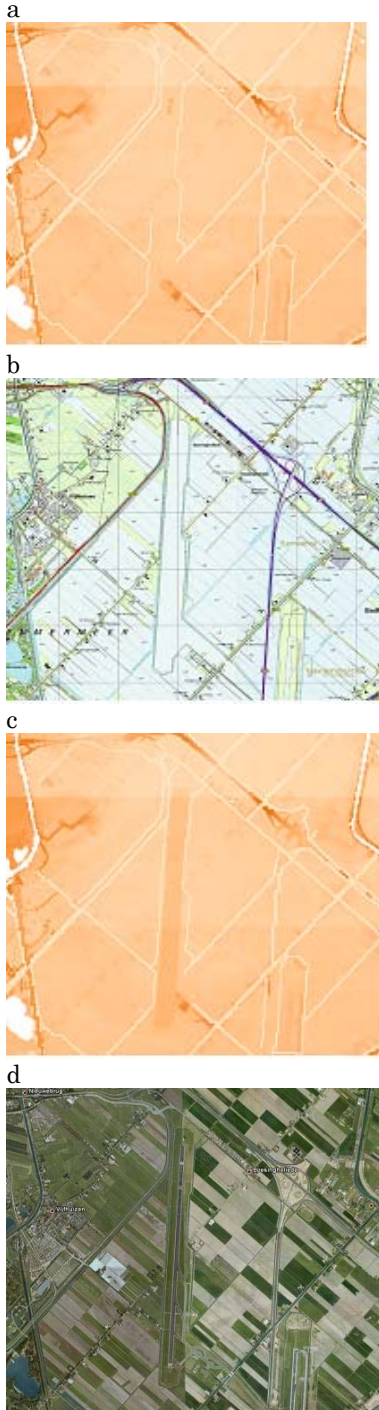
- Er is een bres gemaakt in de Liniedijk ter hoogte van de kruising met de A4, omdat dit een betere schematisering van de werkelijkheid is (zie Figuur 34). In het CIS werd naar wens



Figuur 34
a) Gecorrigeerd AHN (HL, 2007)
b) Kruising A4 met Liniedijk
c) Aangepast AHN
d) Kruising A4 met Liniedijk in detail (GoogleEarth)

van Rijnland de Liniedijk hier als gesloten gemodelleerd. De A4 doorsnijdt de Liniedijk hier echter op maaiveld, dus dit is geen goede aanname.

- Er is gecorrigeerd voor de aanleg van de Polderbaan. Deze is in het bestaande hoogtemodel niet opgenomen. De Polderbaan is gelegen op een hoogte tussen de 3.64 en 3.90 m – NAP (Air Traffic Control, 2008) en is als zodanig toegevoegd (Figuur 35).



Figuur 35 a) Gecorrigeerd AHN (HL, 2007) b) Polderbaan Topo c) Aangepast AHN met inpassing Polderbaan d) Polderbaan (GoogleEarth)

Correctie HSL

Ook de ligging van het HSL-traject in de HLM is nog niet in het huidige hoogtemodel opgenomen (zie Figuur 36). Bij station Nieuw-Vennep buigt de HSL af in oostelijke richting en loopt vanaf hier niet meer parallel aan de Schiphollijn. De lengte van het tracé in de HLM bedraagt ongeveer 10 km. De HSL kruist veel wegen bovenlangs, zoals de Bennebroekerweg, de Vennepeweg, de Rijnlanderweg, de A44 en de Lissersweg. De provinciale weg N207 wordt met een viaduct over de HSL getild. Vervolgens daalt de HSL in een open bak om de HLM-boezem onderlangs te kruisen. Op een aantal plaatsen ligt het tracé op een grondlichaam boven maaiveld. Dit kan een beperkende invloed hebben op overstromingen. Na de afbuiging van de HSL worden de spoorloten aan weerszijden van de HSL echter regelmatig met elkaar verbonden door duikers. Deze duikers verbinden de watersystemen aan weerszijden van de HSL. De afstand tussen de duikers bedraagt ongeveer 200 m. Het gaat in de meeste gevallen om watergangen van een aantal meter breed. Tussen de N207 en de Ringvaart zijn enkele duikers voor ecologische doeleinden in het tracé opgenomen (Projectorganisatie HSL-Zuid, 1998).

Als gevolg van de aanleg van de HSL zal het water bij een overstroming over land meer weerstand ondervinden dan in de oorspronkelijke situatie. Door het hoogtemodel aan te passen is deze vertragende werking als gevolg van de HSL hoogteligging te modelleren. Hierbij dient echter rekening worden gehouden met de duikers en onderdoorgangen in het tracé. Het opnemen van de duikers in de hoogtekaart zal vanwege de gridgrootte van 25m een grote overschatting van de hydraulische capaciteit opleveren. Als de duikers echter worden verwaarloosd dan wordt de ruimtelijke verspreiding van de overstroming juist onderschat. Naar aanleiding van resultaten uit het CIS (HL, 2007a) kan worden opgemerkt dat overstroming over land in dit deel van de HLM geen grote rol van betekenis speelt. Overstromingen treden op vanuit de waterlopen die ten oosten van het HSL-tracé gelegen zijn (zie ook Figuur 38). Op grond van bovenstaande wordt er daarom voor gekozen om geen correcties aan het hoogtemodel uit te voeren als gevolg van de aanleg van de HSL.



Figuur 36 HSL-tracé met kunstwerken en hoogteligging in de HLM van noord (links) naar zuid (GoogleEarth)(Projectorganisatie HSL-Zuid, 1998)

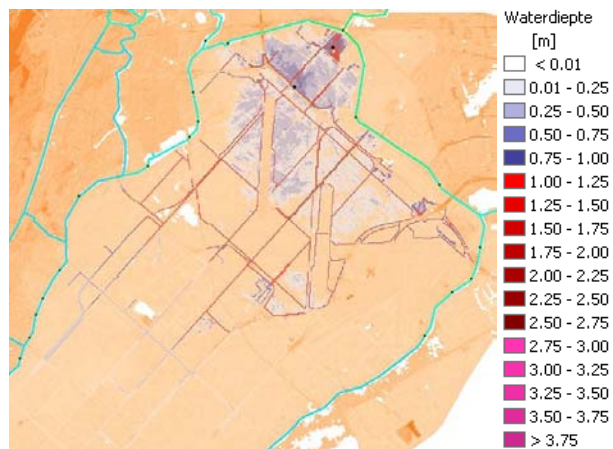
G: Huidige situatie HLM

In deze bijlage zijn de modelresultaten van de huidige situatie in de HLM weergegeven. Deze worden per geselecteerde doorbraaklocatie in de HLM-boezem besproken.

Doorbraak 1

Doorbraaklocatie 1 is gelegen nabij het dorpje Zwanenburg. Bij een doorbraak van de boezemkade van de Ringvaart stroomt een groot deel van dit dorp onder water (tot een overstromingsdiepte van ruim 2 m). Bovendien wordt het noordelijk gelegen deel van Schiphol tussen de Polder- en Zwanenburgbaan getroffen (zie Figuur 37). De gepresenteerde figuren geven steeds het overstromingsbeeld weer na 48 uur.

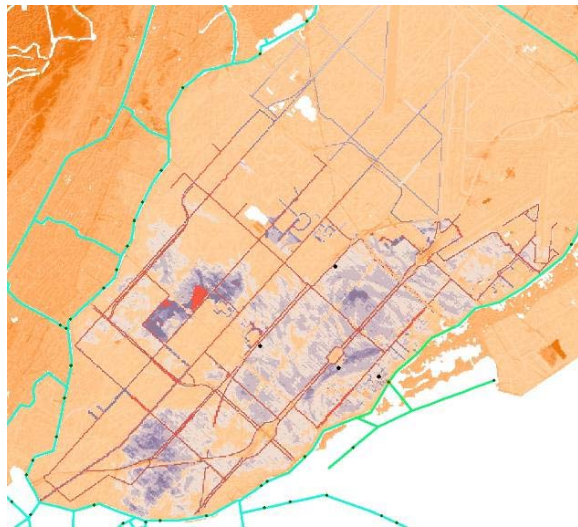
Uit de schadeberekening blijkt dat er voor Schiphol geen grote schade van betekenis ontstaat. De beide landingsbanen liggen voldoende hoog en blijven daardoor droog. Verder treden er overstromingen op in het gebied ten noorden van de A9. Naast Zwanenburg wordt door voortplanting van de overstroming door de waterlopen in het gebied ook een deel van Hoofddorp getroffen. De schade aan infrastructuur blijft beperkt tot schade aan de A4, A5 en A9. De schade als gevolg van doorbraak 1 bedraagt ongeveer € 236 miljoen en er vallen 13 slachtoffers. Alle slachtoffers vallen door overige oorzaken. De meeste slachtoffers vallen bij de bres in het dorp Zwanenburg, waar ook de grootste overstromingsdieptes optreden.



Figuur 37 Overstromingsbeeld na afloop van doorbraak 1



Figuur 39 Nabij doorbraaklocatie 4 staat de Ringvaart in directe verbinding met de Westeinderplassen (GoogleEarth, 2008)



Figuur 38 Overstromingsbeeld na afloop van doorbraak 4

Doorbraak 4

Bij doorbraak 4 wordt de instroom van boezemwater niet alleen bepaald door de afmeting van de boezem, de zogenaamde ventielwerking. Voor de andere drie locaties is dit wel het geval. Ter plaatse van doorbraaklocatie 4 staat de boezem namelijk in open verbinding met de

Westeinderplassen, een groot wateroppervlak ten zuiden van de doorbraak (zie Figuur 39). De slachtoffers (12) vallen ook hier weer voornamelijk bij de bres, in het (kassen)gebied van Rijsenhout, in de categorie overige oorzaken. Er ontstaat grote schade € 531 miljoen. De schade concentreert zich op de nieuwbouwwijk het Getse Woud van Nieuw-Vennep, het zuidoosten van Schiphol en het tuinbouwgebied van Rijsenhout (Figuur 38).

Doorbraak 32

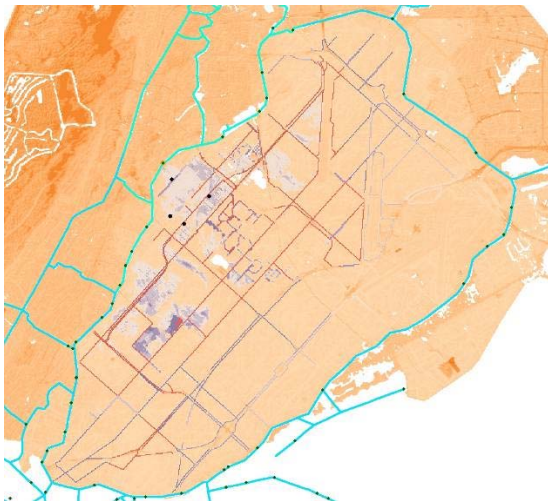
Deze doorbraak vindt vlakbij Schiphol plaats. Het aantal slachtoffers is, vergeleken met de andere geselecteerde doorbraaklocaties, minder groot (6). De meeste slachtoffers vallen in Rijsenhout. De schade aan de zuidwest zijde van Schiphol is aanzienlijk ten opzichte van de andere drie doorbraken. Het is dan ook de doorbraak die het meest dicht bij de Luchthaven gelegen is. Het water verspreid zich in eerste instantie rondom Schiphol en zal later via de openingen in de Liniedijk ook uitstromen in het gebied ten zuidwesten van deze dijk. De totale schade komt neer op bijna € 750 miljoen. De schade per overstroomde gridcel is bij deze doorbraak het grootst, € 35,- per m².



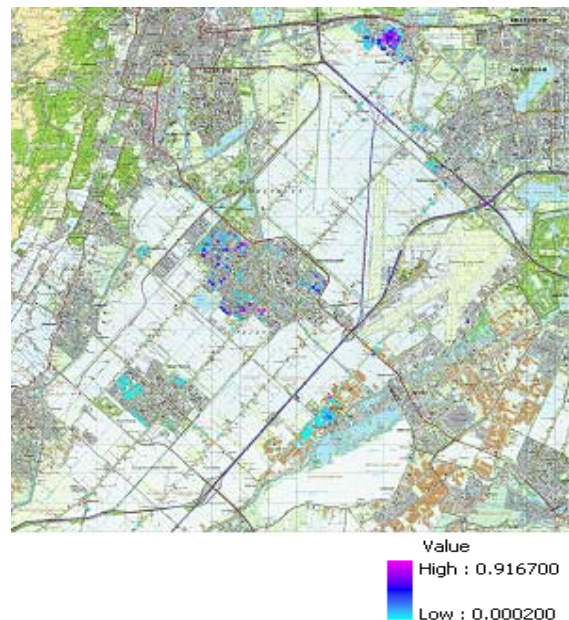
Figuur 40 Overstromingsbeeld na afloop van doorbraak 32

Doorbraak 42

Doorbraaklocatie 42 heeft vooral invloed op het westelijke deel van de HLM. Hierdoor vinden overstromingen plaats ten westen van Hoofddorp en Nieuw-Vennep (zie Figuur 42). Het aantal slachtoffers (18) dat valt concentreert zich nabij Hoofddorp (zie Figuur 41). Bij deze doorbraak is de invloed op Schiphol beperkt, waardoor de schade ook veel kleiner is dan bij de andere doorbraken.



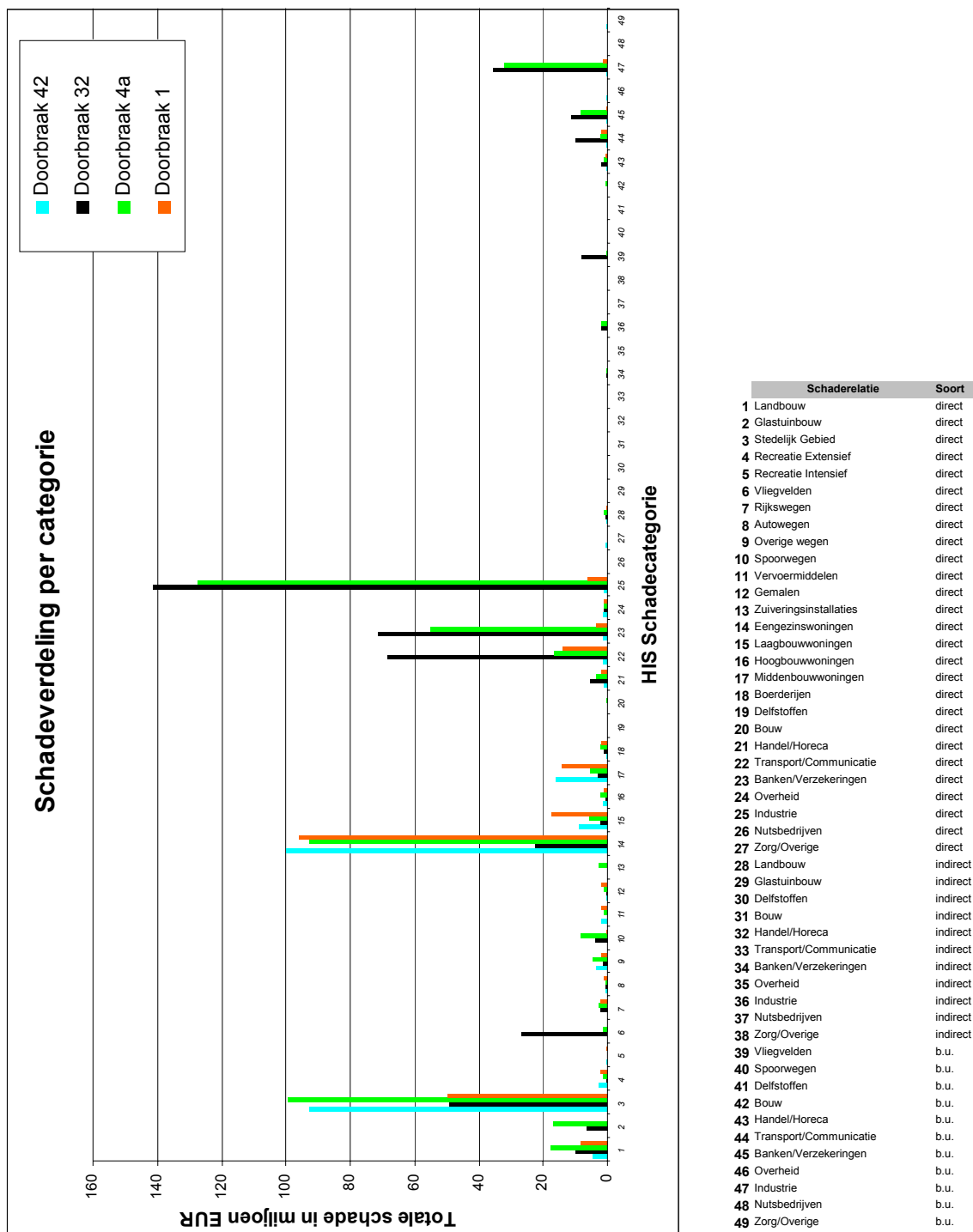
Figuur 42 Overstromingsbeeld na afloop van doorbraak 42



Figuur 41 Ruimtelijke verdeling van de slachtofferkans voor de 4 doorbraken samen

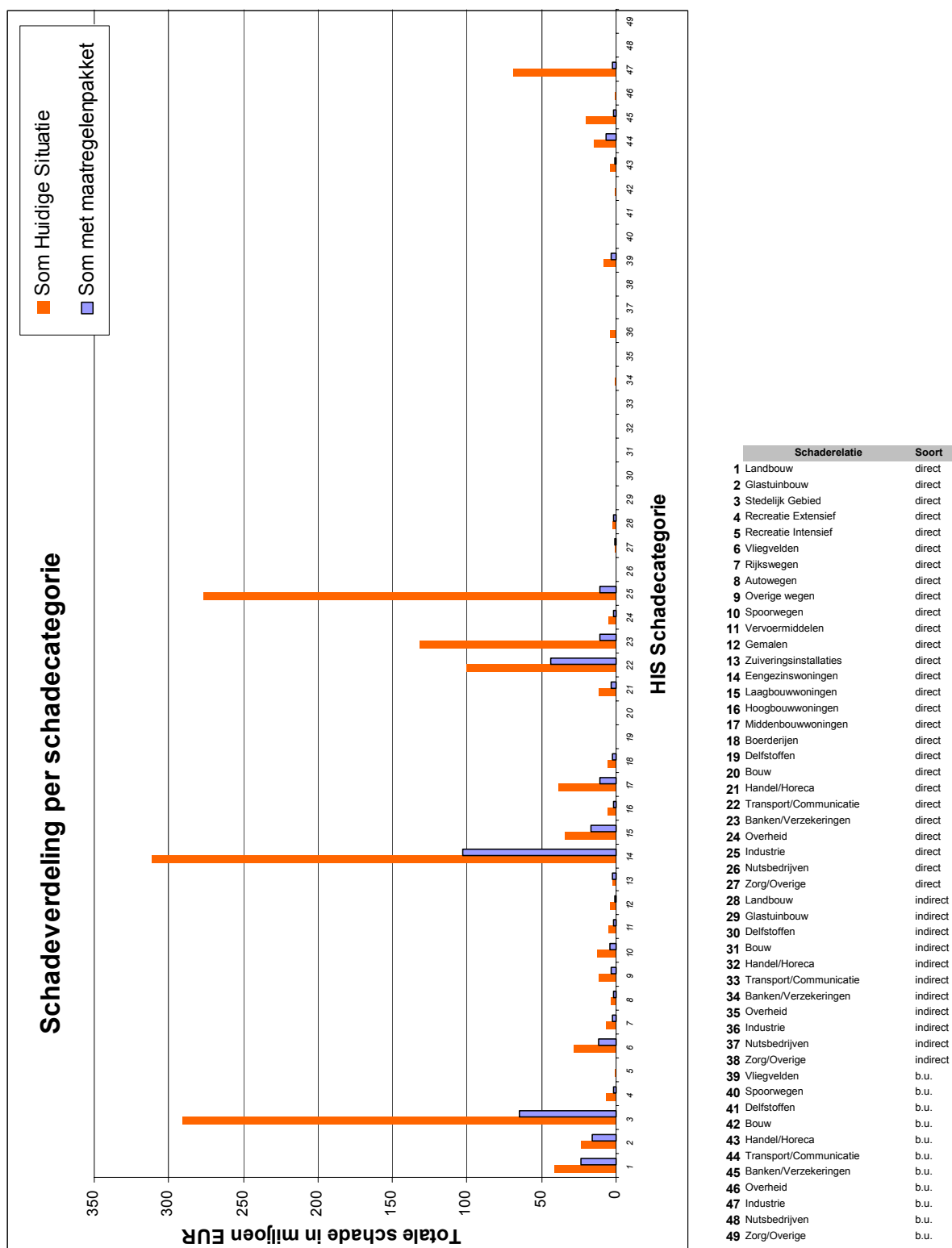
Schadeverdeling per categorie

In Figuur 43 is voor de huidige situatie en per doorbraak de schadeverdeling per schadecategorie uit het HIS SSM weergegeven. Hieruit zijn de verschillen in de schadeverdeling per doorbraak af te leiden.



Figuur 43 Schade per categorie per doorbraak locatie (huidige situatie).

In Figuur 44 is voor zowel de huidige situatie, als de situatie met het maatregelenpakket, de totale schadeverdeling van de 4 doorbraken samen per schadecategorie uit het HIS SSM weergegeven. Hieruit is af te leiden in welke schadecategorieën de grootste schadevermindering plaats vindt.



Figuur 44 Schade voor de 4 geselecteerde doorbraken samen voor en na maatregelenpakket

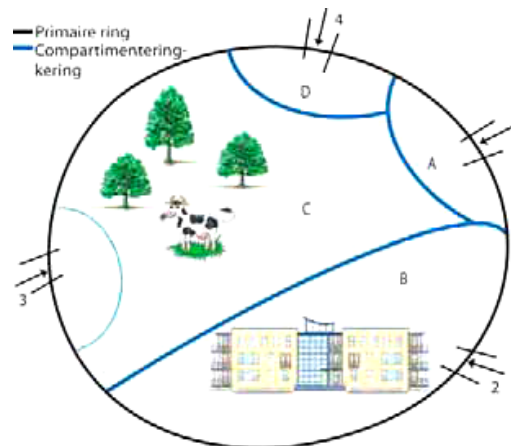
H: Maatregelen

In deze bijlage wordt voor een aantal maatregelen een toelichting gegeven.

Gebiedscompartimentering (algemeen)

Gebiedscompartimentering kan worden mogelijk gemaakt door:

- Gebruik te maken van bestaande keringen of tijdelijk waterkerende lijnelementen
- Realisatie van nieuwe keringen, met vooral waterkerende functie
- Meeliften op de aanleg van nieuwe infrastructuur (lijnelementen), belangrijk voordeel hierbij is dat hoog aangelegde keringen die geschikt zijn om water te keren, hun transportfunctie bij overstromingen kunnen behouden ten behoeve van evacuatie/hulpdiensten.



Figuur 45 Situatieschets waarbij compartimentering wenselijk is bij doorbraken op locatie 1, 3 en 4. (Theunissen et al., 2006)

Meestal zal een compartimenteringplan een combinatie van de bovenstaande mogelijkheden bevatten. In dit onderzoek is vooral gekeken naar mogelijkheden die er bestaan op op de aanleg van nieuwe infrastructuur mee te liften, of gebruik te maken van al bestaande keringen.

Bij het compartimenteren zijn wel een aantal belangrijke punten waar rekening mee moet worden gehouden:

- Bestaande elementen, zoals spoorweglichamen en verhoogde wegen, zijn niet aangelegd als dijk en daarom niet bekleed met klei. Ten behoeve van de waterhuishouding zijn ze meestal juist waterdoorlatend ontworpen. Onder druk van het stromende water kunnen ze daardoor bezwijken. Als de keringen als gevolg van overstroming bezwijken, kunnen ze wel een vertragend effect veroorzaken.
- Hooggelegen lijnvormige elementen worden vaak onderbroken door viaducten en tunnels. Ze moeten dus worden aangepast om als volledige compartimenteringskering te kunnen functioneren. Als onderbrekingen niet worden opgevuld kan een dergelijk lijnelement een vertragende werking hebben.
- Openingen in een compartimenteringskering kunnen ook gebruikt worden om het water te kunnen sturen. Het sturen van water door openingen in een compartimenteringskering af te sluiten is een repressieve maatregel.
- Gebiedscompartimentering kan tot méér schade en/of slachtoffers leiden. Het water in andere delen buiten het compartiment stijgt namelijk sneller. Vooral in de compartimenten dicht bij de doorbraak neemt de stijgsnelheid van het water heel sterk toe, wat directe gevolgen voor het aantal slachtoffers kan hebben. Door de compartimentering kunnen er op sommige plaatsen hogere overstromingsdieptes bereikt worden, waardoor de totale schade hoger kan uitvallen (zie Figuur 45). Een compartimenteringskering heeft een positieve invloed wanneer de extra schade in een overstroomd compartiment wordt gecompenseerd door het voorkomen van schade in andere compartimenten en andersom.
- Bij falen van een compartimenteringskering, zal het overstroomde gebied alsnog buiten het oorspronkelijk overstroomde compartiment treden. Het is dan mogelijk dat de aanwezigheid van de compartimenteringskering juist resulteert in extra schade en slachtoffers.
- Gebiedscompartimentering roept een belangrijk ethisch dilemma op. Wat vroeger “natuurlijk” was, namelijk de loop van de overstroming en het spoor van schade dat deze achterlaat, wordt plotseling gestuurd door menselijke afwegingen. Het kan gaan om het

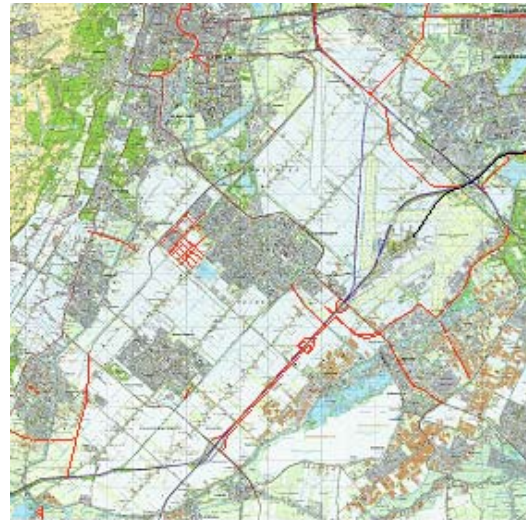
afwegen van het leven van mensen in het ene, dichtbevolkte compartiment, tegen het leven van de mensen in het andere, minder dichtbevolkte gebied. Hoewel hiervoor goede argumenten zijn te geven, is een dergelijke afweging door de overheid altijd omstreden. Gebiedscompartimentering is naast een ruimtelijke oplossing daarom ook een belangrijke bestuurlijke beslissing (Kronberger et al., 2007).

Secundaire kering

In Figuur 46 is het mogelijk gebruik van infrastructurele lijnelementen in de HLM als secundaire compartimenteringskering toegelicht.

Mogelijk te gebruiken lijnelementen:

- Verbinding van de N205 richting de A14
- Verbreding A4
- Parallele ontsluitingsweg N201 tussen Hoofddorp en Aalsmeer
- Uitbreiding capaciteit A9
- Uitbreiding capaciteit N231 tussen Schiphol-Oost en Rozenburg
- Nieuwe weg Knooppunt Raasdorp richting Zwanenburg
- Ontsluiting Hoofddorp zuidwest



Figuur 46 Nieuwe of bestaande aan te passen wegen (rood) in de HLM (Nirov, 2008)

Retentiegebied

Een voorbeeld van een al bestaand (aangewezen) retentiegebied binnen het Rijnland is de Nieuwe Driemanspolder. Deze ligt tussen Zoetermeer, Voorburg en Den Haag in. Het is een voormalige, diepe veenpolder met een oppervlakte van ongeveer 300 ha die tot de kleilaag is ontveend. Het gebied moet geschikt zijn voor permanente zoetwaterberging (90 tot 150 ha). Daarnaast moet de capaciteit van de berging naar schatting eens in de 5 tot 25 jaar gedurende maximaal 10 dagen vergroot kunnen worden tot 225 ha voor de gecontroleerde hoogwaterberging. Bij een te hoge waterstand kan de boezem op deze manier tijdelijk ontlast worden. De kosten van de inrichting bedragen tot nu toe ongeveer € 53 miljoen (Rijnland, 2008b).

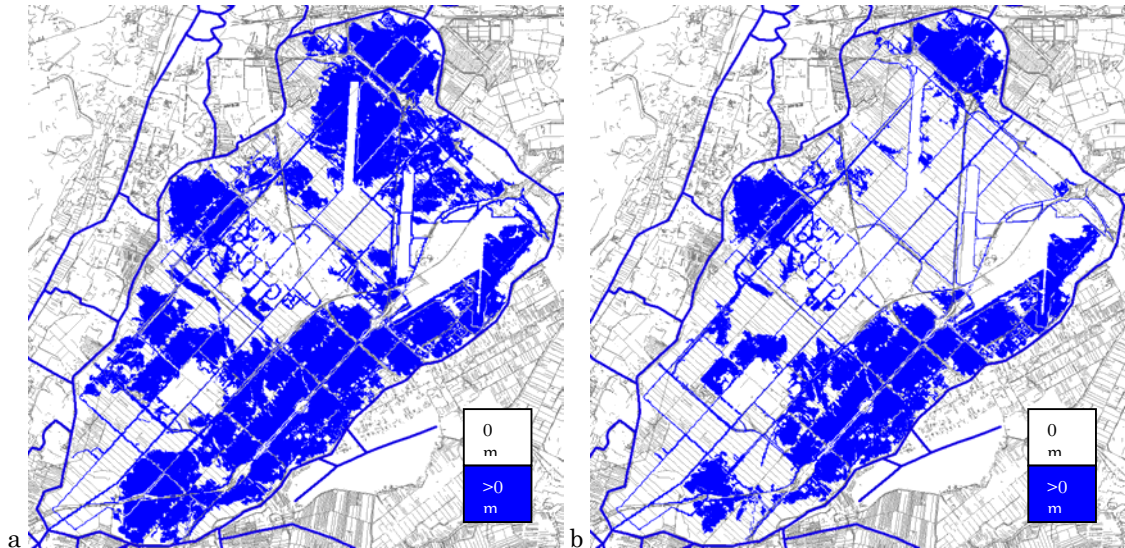
Boezemcompartimentering

Boezemcompartimentering wordt in Sobek hetzelfde gemodelleerd als in het CIS. Op de in Tabel 5 gedefinieerde tijden na een doorbraak wordt op de plaatsen waar de boezem het gemakkelijkst gecompartmenteerd kan worden (locaties van bruggen) een afsluiting van de boezem gemodelleerd. Dit vindt plaats door in Sobek een tijdsafhankelijke stuw in de ringvaart op te werpen. In verband met de snellere mobilisatie- en sluitingstijd van een BWO heeft het compartimenteren met BWO de voorkeur ten opzichte van compartimenteren vanaf bruggen. Indien een BWO beschikbaar is, wordt een BWO gebruikt. In andere gevallen wordt een mobiele kering gemodelleerd.

De aard van de boezemcompartimentering voor de HLM per geselecteerde doorbraak is weergegeven Tabel 23.

Tabel 23 Wijze van boezemcompartimentering per doorbraak

Doorbraak	Vorm en aantal boezemcompartimentering
1	Mobiele kering (3)
4	BWO (3)
32	Mobiele kering (2), BWO (1)
42	Mobiele kering (3)



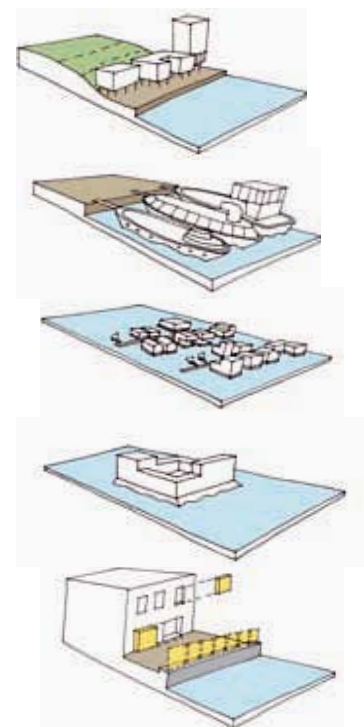
Figuur 47 Overstromingsbeeld in de HLM a) voor de Huidige Situatie en b) na instroom beperkende maatregel Boezemcompartimentering

Varianten

Binnen de maatregel boezemcompartimentering zijn verschillende varianten denkbaar. Binnen dit onderzoek is slechts de optie enkele compartimentering vanaf gemakkelijk bereikbaar locaties (bruggen) beschouwd. De plaats van compartimenteren en het aantal compartimenteringswerken is verder te variëren. Als de ontwikkeling van de stroomsnelheid bijvoorbeeld bekend is, is het de moeite waard om te kijken naar de mogelijkheden van dubbele boezemcompartimentering. Dit kan door in eerste instantie op redelijke afstand van de bres te compartimenteren om later een tweede compartimentering maar dan dicht bij de bres aan te brengen. In 2001 werd dit concept in Wilnis toegepast. Deze en andere varianten van boezemcompartimentering zijn in dit onderzoek niet onderzocht.

Overstromingsbestendige inrichting

Om de schade aan functies als gevolg van een overstroming te beperken is het mogelijk om de functies bestendig te maken voor een overstroming. Hiervoor bestaan een aantal verschillende concepten, die hieronder worden toegelicht. Als laatste wordt nog een concrete invulling aan het overstromingsbestendig inrichten van functies gegeven aan de hand van het concept Bouwen met Water (zie Figuur 48).



Figuur 48 Bouwen met water, biedt verschillende mogelijkheden tot beperking van overstromingsrisico (Consortium Bouwen met Water, 2005)

Ophogen maaiveld

Door ophoging van het maaiveld kan voor bepaalde gebruiksfuncties de overstromingsschade beperkt worden. Zo kan met een halve meter ophoging al een groot deel van de gevolgen van doorbraak van regionale keringen binnen de HLM voorkomen worden. De maatregel is erg kostbaar als het gaat om de bescherming van bestaande functies. Het biedt echter wel perspectief bij de uitvoering van nieuwe inrichtingsplannen. Overtollige hoeveelheden baggerspecie kunnen gebruikt worden als materiaal voor de ophoging.

Palen

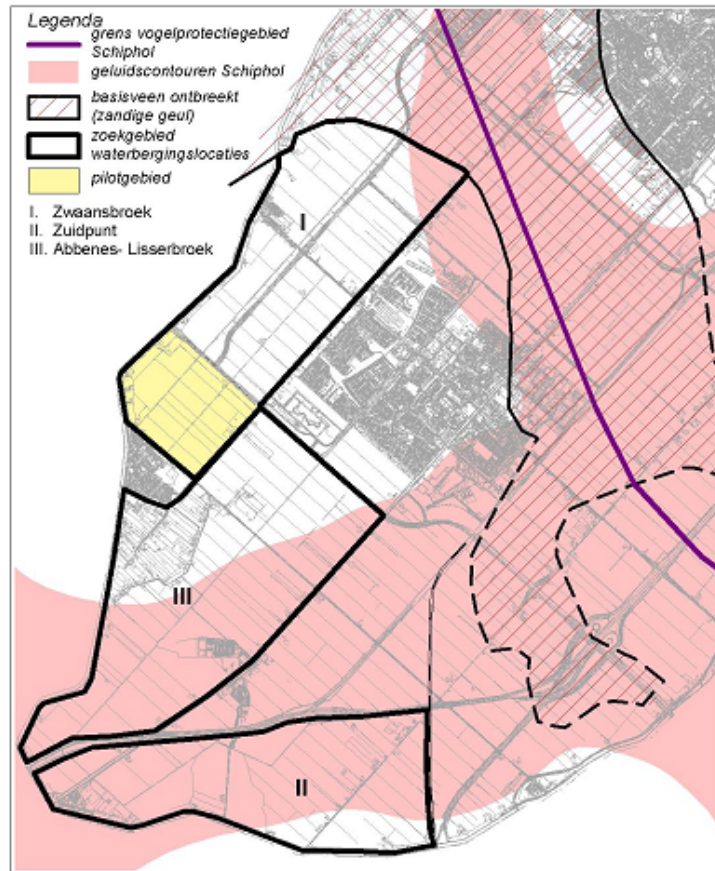
Bij nieuwbouw bestaan hiervoor meerdere mogelijkheden. Bouwen op palen is daar een voorbeeld van. De kans op overstroming (een dijkdoorbraak) neemt hierbij niet af, maar de gevolgen voor de woningen worden beperkt. De woningen zijn wel gelimiteerd in de bescherming tegen een bepaalde waterstand (afhankelijk van de hoogte van de paal).

Drijvend of amfibisch

Drijvend of amfibisch wonen is een andere mogelijkheid tot beperking van het overstromingsgevolg. Amfibie woningen bevinden zich normaal gesproken op het land. In geval van een overstroming kunnen de woningen gaan drijven. Permanent drijvende woningen zijn ook mogelijk. De mogelijkheden van het bouwen van drijvende woonwijken of zelfs een stad



Figuur 50 Drijvende kassen (RP, 2002)



Figuur 49 Geschikte locaties voor Bouwen met Water in de Haarlemmermeer (Consortium Bouwen met Water, 2005).

wordt onderzocht. De ruimte die het water biedt wordt daarbij benut. Het water biedt mogelijkheden voor het bouwen van woningen (of bedrijven) en is goed te combineren met waterretentie en -berging. Randvoorwaarde voor drijvende en of amfibische woningen is dat er een geleidelijke (en geen rigoureuze) stijging van het waterpeil plaatsvindt. Bovendien zit er een maximum aan de stijghoogte van het water (4 m) (Terpstra, 2007). Drijvende woningen is een van de duurdere varianten. Het bouwen van drijvende kassen behoort inmiddels ook tot de mogelijkheden (zie Figuur 50).

Waterdicht

Een gebouw kan dusdanig worden ontworpen of aangepast zodat het zelf als waterkering kan fungeren. Dit principe wordt al op meerdere plaatsen toegepast (bijvoorbeeld Kampen en IJburg). Door aanpassingen aan het individuele gebouw wordt het mogelijk om te bouwen in gebieden waarvan de kans groot is dat deze te maken krijgen met water. Voor bestaande gebouwen zijn de mogelijkheden echter beperkt. Het installeren van voorzieningen om het water in geval van overstroming buiten de deur te kunnen houden blijft dan als enige over. De voorzieningen moeten voor elk type huis ontworpen worden en zijn hierdoor prijzig. Particulieren zullen niet snel zelf het initiatief nemen tot een dergelijke investering. Bij huurwoningen kan een dergelijk initiatief wel gemakkelijker worden opgepakt door de beherende instantie (gemeenten, woningcorporaties).

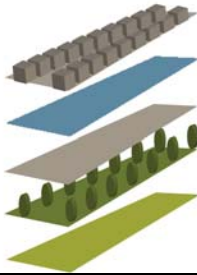
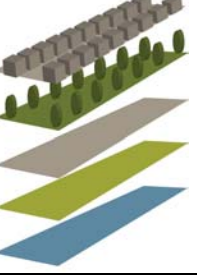
Wet-proof

Wet-proof is zodanig bouwen dat het water vlot het object in en uit kan of een versneld droogproces mogelijk maakt. Belangrijk hierbij is de materiaalkeuze van de bouwelementen. De materialen moeten onder meer vormbehoud tonen, bestand zijn tegen water, niet-waterdoorlatend zijn, te reinigen zijn, niet uitlogen in contact met water en een korte droogtijd hebben (Terpstra, 2007). Het wet-proof maken van bestaande bebouwing is gemakkelijk te realiseren. Wet-proof zal niet zo snel plaatsvinden als mensen zich niet bewust zijn van het risico dat men loopt op de locatie waar gebouwd wordt.

Bouwen met water

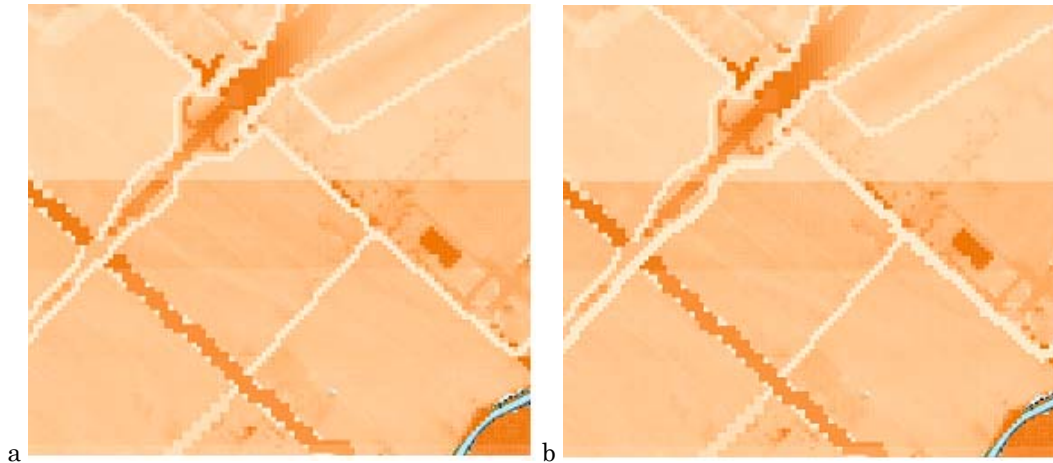
Bouwen met water is een programma dat in het ontwerp van woningbouw het water als uitgangspunt neemt, in plaats van wat traditioneel het geval is (zie Tabel 24 en Figuur 48). Voor wat betreft de HLM is het gebied binnen de 20 Ke geluidscontour van Schiphol uitgesloten voor woningbouw. Vanuit het watersysteem is een voor traditionele vormen van bouwen een locatie gewenst waar de ondiepe ondergrond een grote weerstand bezit tegen opbarsten en grondwaterstromingen en die dichtbij de boezem is gelegen. Een grote weerstand tegen grondwaterstroming is van belang om te zorgen dat de grondwaterstandverhoging in de directe omgeving van de locatie beperkt blijft. Een grote weerstand tegen opbarsten is nodig om de zoute grondwaterlagen niet naar boven te laten komen. Wonen in combinatie met water biedt kansen voor waterberging, recreatie en ontwikkeling van natuur. De meest geschikte locaties voor Bouwen met Water zijn weergegeven in Figuur 49 (Consortium Bouwen met Water, 2005).

Tabel 24 Verschillen Bouwen met water en traditionele bouwwijze.

	<i>Traditioneel Bouwen</i>	<i>Bouwen met water</i>
Uitgangspunten Hiërarchie in de bouwlagen	Bouwen 	Water 
Resultaat	15% Water 30 Woningen per ha	50% Water 17 Woningen per ha

Maatwerk

Het in Bijlage F gepresenteerde hoogtemodel is aangepast naar aanleiding van de voorgestelde maatregelen voor Schiphol. Onderdeel van deze maatregelen vormt het verbreden van een waterloop (zie Figuur 51a en b en Figuur 52).



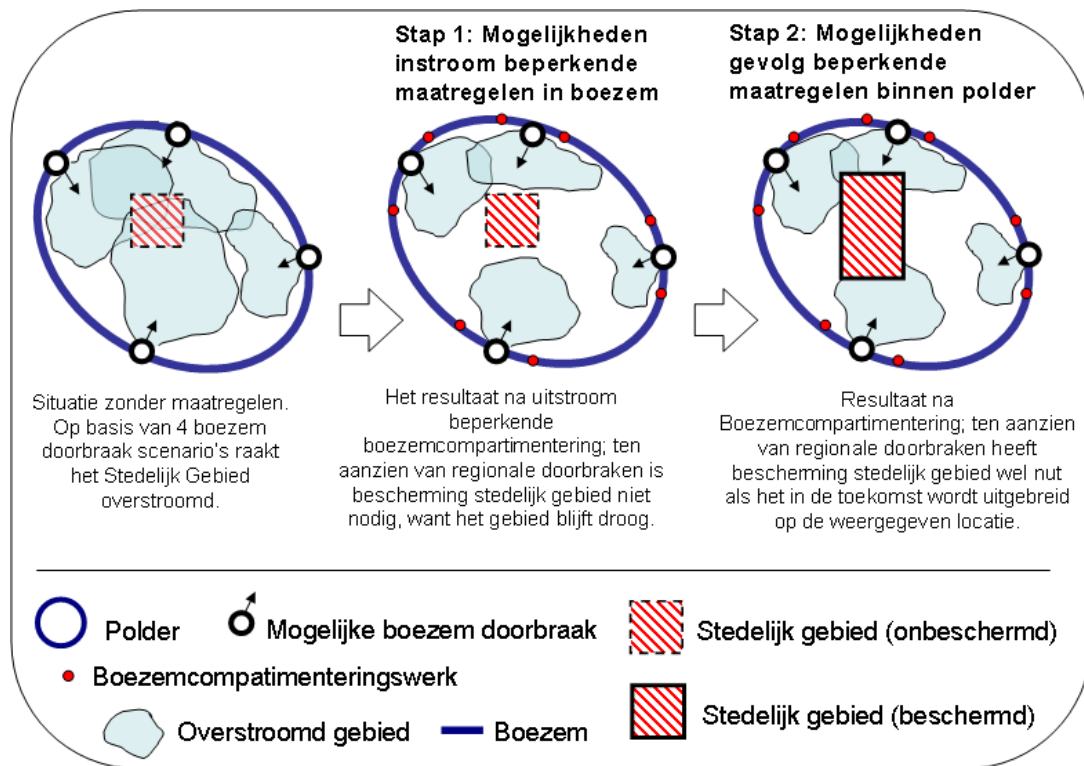
Figuur 51 a) Detail van oorspronkelijk AHN en b) AHN met verbrede waterloop bij Schiphol



Figuur 52 Gemodelleerde traject van waterloopverbreding (GoogleEarth).

Combinaties

Een voorbeeld van het in het hoofdrapport beschreven stappenplan voor het maken van combinaties tussen maatregelen is weergegeven in Figuur 53.



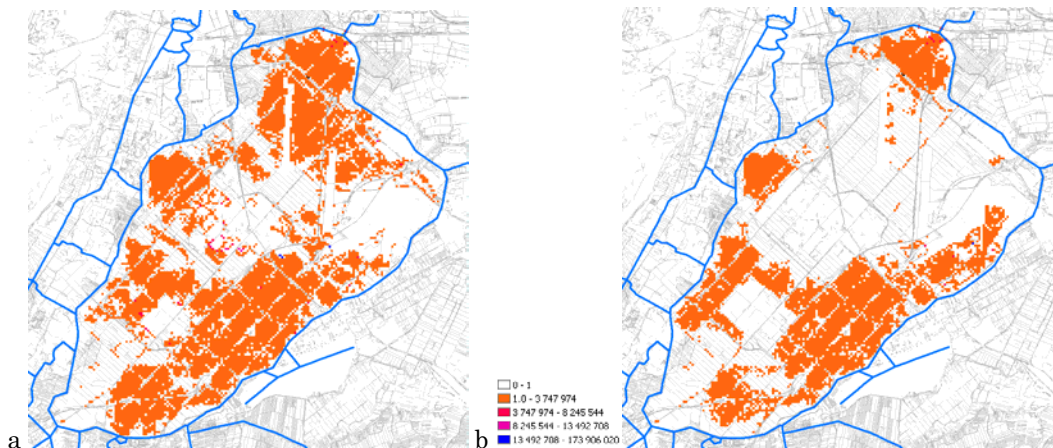
Figuur 53 Voorbeeld uitwerking stappenplan voor een combinatie tussen boezemcompartimentering en de gebiedscompartimentering strategie waardebescherming voor stedelijk gebied.

Maatregelenpakket

De resultaten van uitvoering van het totale maatregelenpakket zijn veelbelovend. In totaal kan de schade voor de 4 doorbraken samen met 76% verminderd worden (zie Tabel 9). De meeste absolute schadevermindering vindt plaats bij doorbraak 4, op de voet gevolgd door doorbraak 32, beide rond de € 400 miljoen. Deze schadevermindering heeft vooral betrekking op het verminderen van de schade rondom Schiphol. Relatief gezien vindt de meeste schadevermindering plaats bij doorbraak 42. De inzet van het retentiegebied gecombineerd met de boezemcompartimentering en de waardebescherming blijkt hier groot effect te hebben. Het totale aantal slachtoffers neemt af met 28 personen.

Het totaal ingestroomde volume bij de 4 doorbraken neemt dankzij de boezemcompartimentering af met 28%. Mede hierdoor zijn er ook verschillen in overstroomd oppervlak en de overstromingsdieptes waarneembaar (zie Figuur 20). Het overstroomd oppervlak neemt af van 8100 ha naar 5200 ha, een afname van 36%. De gemiddelde sommeerde overstromingsdiepte voor de 4 doorbraken samen daalt van 0.76 naar 0.33 m. De totale schade neemt af met 76% (zie Figuur 54 en Tabel 10). Dit is een veel groter percentage dan bijvoorbeeld de vermindering van het ingestroomde volume, maar dit komt dan ook door het feit dat juist de schade op de schadegevoelige locaties door de maatregelen sterk wordt verminderd. Daarnaast valt de totale schadevermindering 30% lager uit dan op grond van de afzonderlijke schadeverminderingen per maatregel verwacht kan worden. Ook dit is voor een groot deel het gevolg van het beperken van de instroom (door boezemcompartimentering), waardoor de mogelijkheden tot overstromingsschadebeperking in de polder verminderen.

In Figuur 44 in Bijlage G is de verdeling van de schade over de verschillende schadecategorieën weergegeven, in vergelijking met de huidige situatie. Hieruit valt op te maken dat de absolute vermindering van de schade het grootst is bij de categorieën stedelijk gebied, eengezinswoningen en industrie.



Figuur 54 Schadebeeld vanuit HIS SSM in € per 100 m² a) Huidige Situatie en b) met Maatregelenpakket

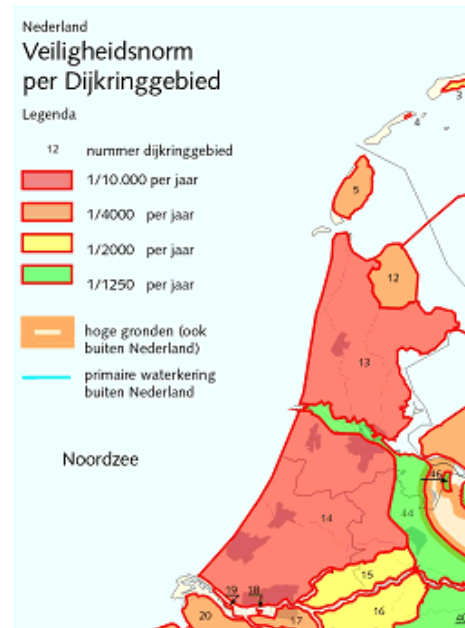
Criteria

Hieronder zijn de beoordelingscriteria van de maatregelen uiteengezet.

- Schade
- Slachtoffers
- Primair watersysteem

Schade

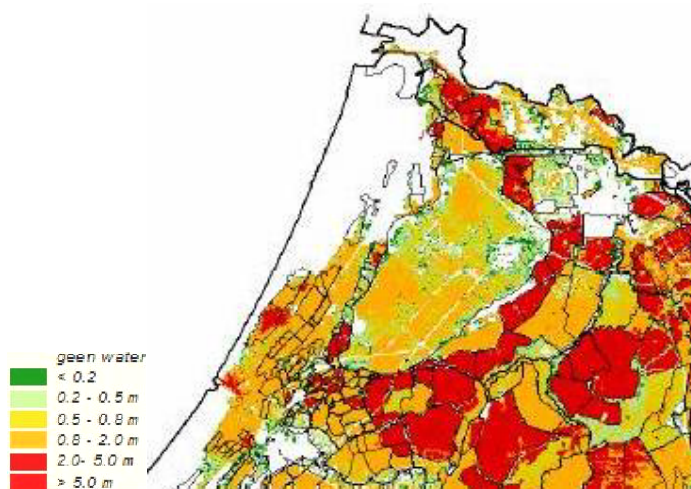
Het effect van een maatregel wordt gemeten aan de hand van de schadevermindering. Bij de analyse van de huidige situatie is naar voren gekomen, wat de schade voor de 4 geselecteerde doorbraken samen is indien er geen maatregelen worden genomen. Door na de implementatie van maatregelen opnieuw de schade te bepalen, is het verschil in schade een maat voor het effect van de maatregel. Dit criterium is kwantitatief te beoordelen. Als tweede effectcriteria kan worden opgevoerd het effect van de maatregel op de schade die niet in het HIS SSM is opgenomen. Het gaat hier om schade als gevolg van schoonmaakkosten, redding en herstel van waterkeringen (herstelschade aan het boezemsysteem). Dit criteria is op een kwalitatieve wijze in de beoordeling meegenomen.



Figuur 55 Overzicht primaire keringen met norm betreffende de HLM in dijkkring 14 (RWS, 2005)

Slachtoffers

Als blijkt dat er bij overstromingsscenario's slachtoffers vallen is het verstandig om bij de implementatie van maatregelen rekening te houden met de beïnvloeding van het aantal slachtoffers. Naast de economische schade speelt de niet gewaardeerde emotionele schade als gevolg van slachtoffers daarbij ook een rol. Uit de analyse van de huidige situatie is gebleken dat het aantal slachtoffers als gevolg van een doorbraak van een regionale waterkering niet te verwaarlozen is. Het is van belang dat een maatregel voor de geselecteerde doorbraakscenario's niet leidt tot beduidend meer slachtoffers dan in de huidige situatie.



Figuur 56 Ergst Denkbare Overstroming (EDO) voor dijkkring 14 waaronder de HLM (Provincie Zuid-Holland, 2008)

Primair watersysteem

Als gevolg van de maatregelen die genomen worden om overstromingsschade van regionale waterkeringen te beperken kunnen neveneffecten ontstaan op de overstromingsschade en slachtoffers van doorbraken vanuit het primaire watersysteem (zie Figuur 55). Voor de HLM zijn daarbij vooral de duinen en het Noordzeekanaal van belang. Er is gekeken naar het kwalitatieve effect van de maatregelen op overstromingen als gevolg

van falen van primaire waterkeringen. Als uitgangspunt hiervoor is het Ergst Denkbare Overstroming (EDO) scenario gekozen, omdat in minder extreme gevallen de HLM grotendeels droog blijft. Dit is het gevolg van de omringende HLM-boezemkade, welke in de modellen als een niet bezwijkbaar dijklichaam wordt gemodelleerd. De EDO's zijn modelruns voortgekomen uit omstandigheden waarin de primaire waterkeringen met extreme belastingen te maken krijgen. Ze zijn opgesteld voor organisatorische voorbereiding voor een bovengrens in de omvang van de overstroming in onder andere het kustgebied (Kolen, 2007). Een EDO voor West-Nederland is weergegeven in Figuur 56. Afgezien van een aantal droge plekken, onder meer een deel van Schiphol, ligt de overstromingsdiepte in de meeste gevallen tussen de 0.5 en 2.0 m. Bij de EDO voor de HLM liggen de overstromingsdiepte in vergelijking met regionale boezemdoorbraken een stuk hoger. Verder krijgt een groter gebied met de overstroming te maken. Door de grotere overstromingsdieptes zijn er ten aanzien van het overstromingseffect meer slachtoffers en een hogere schade te verwachten. Bij het selecteren van maatregelen is gekeken naar de invloed die de maatregelen hebben op het verloop van een EDO binnen de HLM voor wat betreft schade en slachtoffers. Een maatregel kan voor primaire overstromingen risicobeperkend of juist risico versterkend werken.

Kosten

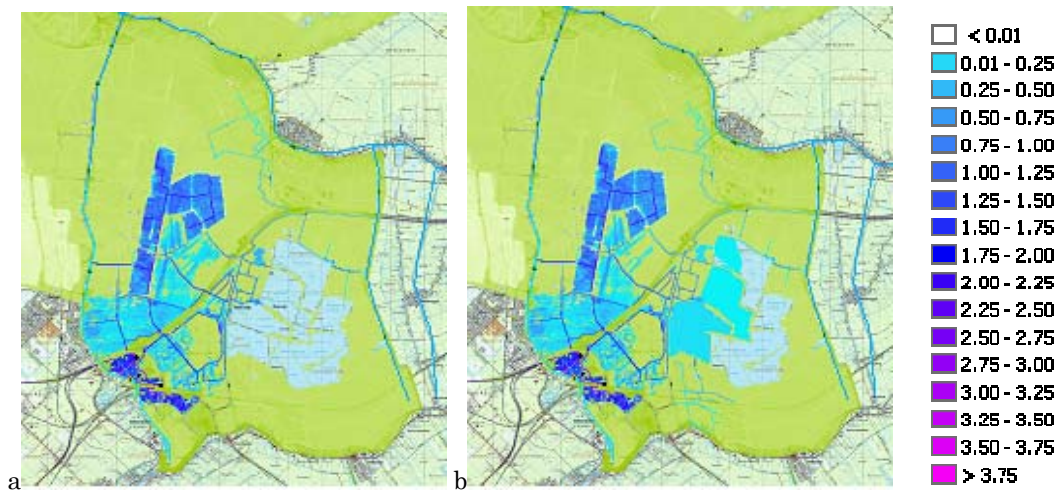
De kosten zijn kwalitatief beoordeeld en zijn niet tussen de maatregelen onderling vergeleken. In die zin is het geen criteria. Wel is binnen de verschillende inrichtingsvarianten per maatregel gekeken naar de meest kostenefficiënte variant. Bijvoorbeeld bij het selecteren van het te gebruiken type compartimenteringskering (a, b of c). Verder is met het oog op kosten uitgekeken naar koppelmansen en no-regret maatregelen. Dit zijn maatregelen die in combinatie met al geplande water gerelateerde maatregelen uit een andere sector (bijvoorbeeld Bouwen met Water) genomen kunnen worden en/of weinig extra inspanning (kosten) vereisen.

Gevoeligheid

In deze paragraaf komen de onderzochte gevoeligheden van de modeluitkomsten aan bod.

Oppervlaktewater

Oppervlaktewater in de polder, niet zijnde de hoofdwaterlopen, is in het oorspronkelijke Sobek-model als no-data in het AHN opgenomen. Hierdoor is het niet mogelijk om water op het oppervlaktewater te bergen. In werkelijkheid is dit wel mogelijk. Hierdoor zal de schade, vooral in polders waar veel oppervlaktewater aanwezig is, overschat worden. Voor de Reeuwijkse plassen nabij Gouda is geanalyseerd wat het effect is van waterberging op de totale overstromingsschade. Dit geeft een beeld van de onnauwkeurigheid in de schade die ontstaat als het oppervlaktewater niet is opgenomen. Het geeft overigens ook een beeld van de mogelijkheden die berging van overstromingen op het oppervlaktewater (als maatregel) biedt. Het in de case benutte bergingsoppervlak van de Reeuwijkse plassen bedraagt ongeveer 500 ha. Gemiddeld wordt hier ongeveer 0.1 m geborgen met als gevolg dat de schade ongeveer 10% lager uitvalt (zie Figuur 57 en Tabel 25). Voor dit gebied is het dus niet verstandig om het bergend vermogen te verwaarlozen. Ook voor de HLM kan de invloed van berging op het oppervlaktewater worden geschat. Het totale areaal aan oppervlakte water in de HLM, niet zijnde hoofdwaterlopen, bedraagt minder dan 60 ha. Dit bevat het Haarlemmermeerse Bos, Recreatieplas Toolenburg en het Floriadegebied. Hieruit kan geconcludeerd worden dat voor de schadeberekening van de HLM het verwaarlozen van de berging op het oppervlaktewater eigenlijk geen grote rol van betekenis speelt. Om dezelfde reden heeft het ook weinig nut om te proberen om na een overstroming water te bergen op het bestaande aanwezige oppervlakte water. De berging ten opzichte van het totale overstromingsvolume is nihil.



Figuur 57 Gevoeligheid overstroomingsbeeld in [m] voor opname oppervlaktewater in AHN a) geen berging mogelijk met origineel AHN en b) na modelverbetering waarbij waterberging op oppervlaktewater wel mogelijk is

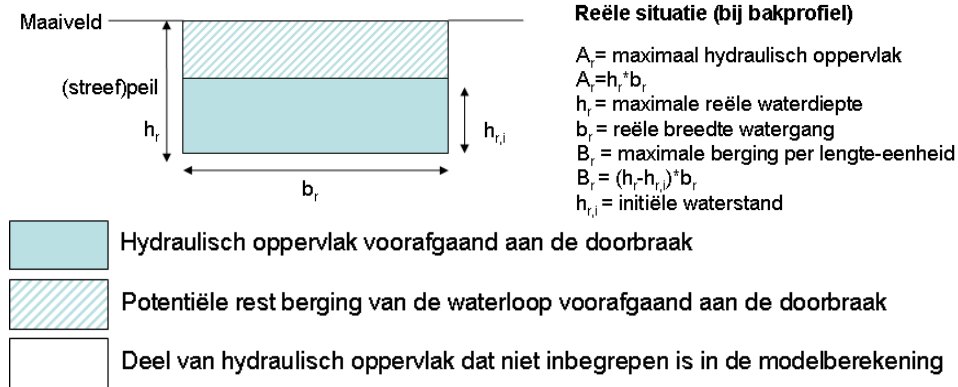
Tabel 25 Gevoeligheidsanalyse modellering oppervlaktewater voor doorbraak in Gouda\Boskoop a) oppervlaktewater als no-data en b) oppervlaktewater opgenomen in AHN

Doorbraaklocatie	Scenario	Tot. schade (€ miljoen)	Tot. slachtoffers
196	a	299	7
	b	266	7

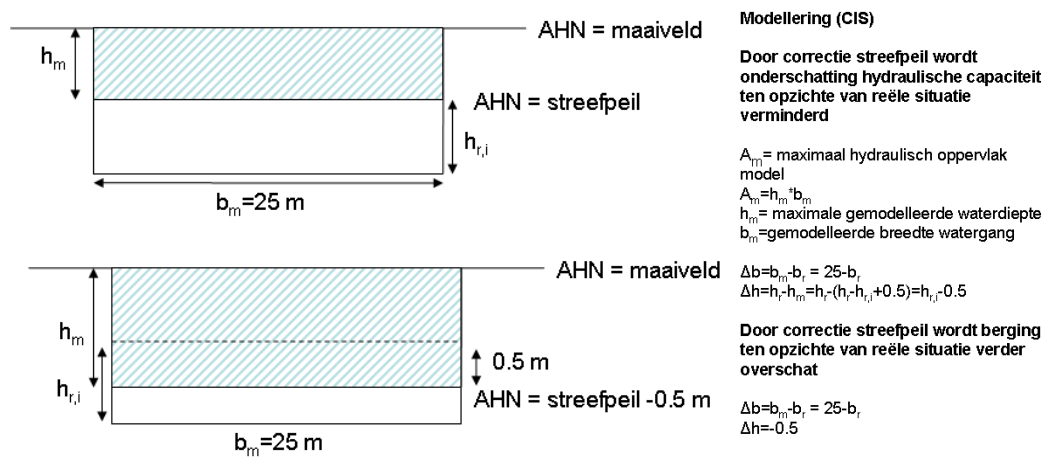
Modellering waterlopen

Een van de beperkingen van het model is zoals eerder aangegeven de modellering van de waterlopen. Bij de start van de modelberekeningen voor het CIS is de keuze gemaakt voor het modelleren van de waterlopen met 2D. Modelleren met 2D met een correctie voor het hydraulisch profiel kreeg ten opzichte van 1D modellering de voorkeur. Dit in verband met de te leveren inspanning voor 1D modellering, het gebrek aan voldoende nauwkeurige gegevens van de kadehoogten (belangrijk voor 1D), de extra rekentijd die het op zou leveren en de kleine verschillen met 2D modellering (HL, 2006). De gevoeligheidsanalyse betreffende de modellering van de waterlopen gaat dan ook niet over de keuze tussen 1D en 2D. Binnen de 2D modellering zijn wel verschillende variaties mogelijk in de correctie voor het hydraulisch profiel om zo goed mogelijk aan te sluiten bij de werkelijke situatie.

In eerste instantie heeft HydroLogic de correctie van het AHN uitgevoerd aan de hand van de precieze hydraulische capaciteit van de hoofdwaterlopen. Dit is later teruggedraaid, omdat er dan hobbels en stremmingen in de in het AHN geplaatste waterlopen ontstonden. Uiteindelijk is daarom gekozen voor een verlaging van het streefpeil van alle hoofdwaterlopen met 0.5 m. In het geval dat men de hoogteligging van de hoofdwaterlopen gelijk zou stellen aan het streefpeil, zou na opschaling naar 25x25m de berging overschat worden. Met een eenvoudige bewerking wordt namelijk bereikt dat alle hoofdwaterlopen een breedte van 25 m krijgen aangemeten. In dit geval zou de hydraulische capaciteit door een onderschatting van het hydraulisch oppervlak onderschat worden. Verlaging van het AHN met 0.5 m ten opzichte van het streefpeil levert een vergroting van de maximale hydraulische capaciteit op, de onderschatting van de hydraulische capaciteit wordt daarmee enigszins ingeperkt. Nadeel is echter dat het bergend vermogen van de hoofdwaterlopen door de verlaging nog verder wordt overschat. Hieronder is de invloed van de correctie op de berging van water in de waterlopen en op de hydraulische capaciteit in kaart ten opzichte van reële situatie in kaart gebracht (zie Figuur 58 en Figuur 59). Een toelichting op de figuren is hieronder weergegeven.



Figuur 58 Schematische weergave van een reële situatie waarin het bergend vermogen en het hydraulisch oppervlak in een waterloop met bakprofiel zijn weergegeven.



Figuur 59 Schematische weergave van het bergend vermogen en het hydraulisch oppervlak zoals dat gemodelleerd is in het onderzoek (onder) en de situatie zonder correctie (boven).

Toelichting bij Figuur 57 en Figuur 58:

Berging

Op tijdstip $t=0$ zal zich in werkelijkheid water bevinden in de verschillende waterlopen. De waterstand in de waterlopen is van invloed op de hoeveelheid water die na een doorbraak geborgen kan worden in de waterlopen. Uitgaande van waterstanden die gelijk zijn aan het streefpeil komt de berging overeen met de ruimte die het water tot aan het maaiveld nog over heeft om te stijgen. De berging als gevolg van de AHN correctie tot 0.5 m onder streefpeil heeft tot gevolg dat het totale bergend vermogen in de HLM ten opzichte van de reële situatie wordt overschat met een factor $12.5 - 0.5 \cdot b_r$, waarbij b_r de reële breedte van een hoofdwatervat is. Deze overschatting treedt op basis van een vereenvoudigde reële situatie (zie Figuur 58). De werkelijke overschatting van de berging in de waterlopen is afhankelijk van de lengte van het traject aan waterlopen dat overstroomd raakt en de waterstanden die in deze waterlopen bereikt wordt.

Hydraulische capaciteit

Door de correctie van het AHN wordt de hydraulische capaciteit van de hoofdwatervat onderchat, vooral bij de kleinere hoofdwatervat. De onderschatting van de capaciteit is te berekenen aan de hand van de verandering van het hydraulisch oppervlak wat te beschrijven is met $\Delta b = (25 - b_r)$ en $\Delta h = (h_{r,i} - 0.5)$. Hierdoor wordt van de meeste waterlopen het doorstroomprofiel en daardoor ook het debiet in het model onderchat.

Op basis van de modelberekeningen kan de modelcapaciteit van de waterlopen worden geschat. Deze bedraagt ongeveer 10 m³/s voor de Hoofdvaart van de HLM. Dit blijkt voor de Hoofdvaart een aardige schatting te zijn.

Combinatie

De hierboven genoemde factoren zijn beide van invloed op de verspreiding van de overstroming. De conclusie van de analyse is dat het binnen de 2D modellering van waterlopen niet mogelijk is om beide factoren naar werkelijkheid te modelleren. Het netto-effect van beide fouten bepaalt of de modelresultaten met een werkelijke overstroming overeenstemmen. Het kan nuttig zijn om de in 2D gemodelleerde fout ten opzichte van een werkelijke situatie te vergelijken met een 1D modellering van de waterlopen. De exacte capaciteit van het hoofdwaterlopen stelsel zal echter pas duidelijk worden wanneer er echt eens een doorbraak plaats vindt en ook dan is het gedrag van het systeem nog steeds afhankelijk van de aanwezige condities op het moment dat de doorbraak plaats vindt (de waterstand bijvoorbeeld). Validatie van zowel een 1D als 2D model kan pas plaats vinden als er data beschikbaar komt van een werkelijke doorbraak in de HLM.

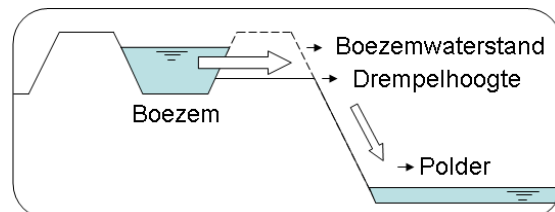
De gevoeligheid van de keuze van de correctie is onderzocht. Als de correctie van het AHN ten opzichte van het streefpeil wordt vergroot met 0.1 m (20% grotere correctie) heeft dit een schadevermindering van 2 miljoen tot gevolg (ongeveer 2%)(zie Tabel 26). Deze gevoeligheid is onderzocht met behulp van het samengestelde maatregelenpakket voor doorbraak 4. Het overstromd oppervlak is hier groot en de berging in en doorstroming van de hoofdwatergangen hierdoor ook. Een verhoging van de correctie ten opzichte van het streefpeil leidt tot een vergroting van de overschatting van het bergend vermogen van de waterlopen en leidt tot vermindering van de onderschatting van het hydraulisch oppervlak ten opzichte van een reële situatie met bakprofiel. Dit heeft tot gevolg dat er na de doorbraak in eerste instantie meer water geborgen wordt en dat de verplaatsing van water door de waterlopen vervolgens sneller gaat. Het netto effect van beide veranderingen is dat de schade afneemt. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door de grotere berging. In beide situaties is gedurende de overstroming het overstromingsoppervlak zowel op het land als in de waterlopen namelijk vergelijkbaar. Dit duidt op een klein verschil in hydraulische capaciteit van de waterlopen. Alleen de optredende overstromingsdiepte op het land verschilt enigszins. De toename van de overschatting van het bergend vermogen lijkt dus dominant te zijn vergeleken met de vermindering van de onderschatting van de hydraulische capaciteit. Hoewel de geconstateerde verschillen niet groot zijn, kan het verder optimaliseren van de 2D modellering van de waterlopen nuttig zijn.

Tabel 26 Gevoeligheid correctie streefpeil op hoofdwaterlopen AHN voor doorbraak 4 met Maatregelenpakket a) Correctie streefpeil -0.5 b) Correctie streefpeil -0.6 m

Doorbraaklocatie	Scenario	Tot. schade (€ miljoen)	Tot. slachtoffers
4	a	103	2
	b	101	2

Boezempeil

Het boezempeil is gemodelleerd op 0.35 m – NAP. Dit is een worstcase scenario in de huidige situatie. Het streefpeil van de HLM boezem ligt namelijk op 0.6 m – NAP. Het gemodelleerde boezempeil komt overeen met een extreem natte situatie. Om de invloed van het gemodelleerde boezempeil op de onderzoeksresultaten te toetsen is voor twee doorbraaklocaties een stijging van het peil met 0.35 m gemodelleerd. Dit is denkbaar



Figuur 60 Modellering van een boezemdoorbraak, zoals opgenomen in het Sobek-model.

als in 2100 de zeespiegel met 0.35 m is gestegen en er vanuit wordt gegaan dat er geen uitbreidingen van de gemaalcapaciteit plaats vinden. Naast het boezempeil is het instroomdebiet nog afhankelijk van de drempelhoogte van de bres, welke bij deze gevoeligheidsanalyse verder buiten beschouwing is gelaten (zie Figuur 60).

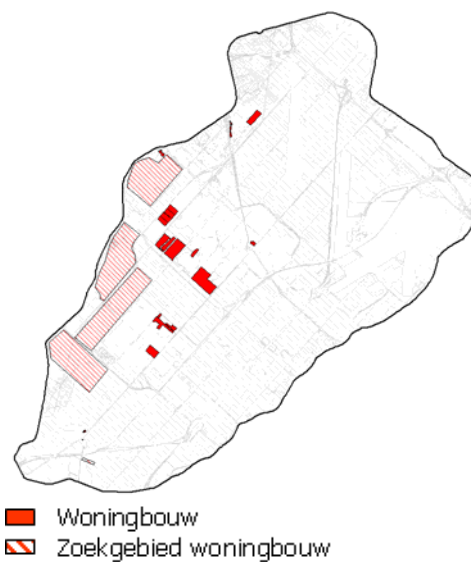
De schade voor doorbraak 42 zonder maatregelen bij een stijging van het boezempeil tot 0.35 m bedraagt in € 381 miljoen, een toename van 56%. Een andere doorbraaklocatie nabij Schiphol levert een vermeerdering van 65% (HL, 2008)(zie Tabel 27).

Tabel 27 Gevoeligheid van boezempeil voor doorbraaklocatie 42 en 31 a) Huidige Situatie met boezempeil op 0.35 m - NAP en b) toename boezempeil met 0.35 m naar 0.0 m NAP

<i>Doorbraaklocatie</i>	<i>Scenario</i>	<i>Schade (€ miljoen)</i>	<i>Vershil (%)</i>	<i>Slachtoffers</i>
42	a	244	-	16
	b	381	56	23
31	a	199	-	7
	b	329	65	13

Toekomstig landgebruik

Het is niet mogelijk om toekomstige ontwikkelingen in de HLM te modelleren met het HIS SSM. Dit komt omdat de opzet van het programma het onmogelijk maakt om de gebruikte dataset aan te passen aan deze ontwikkelingen. Het modelleren van de schade buiten het HIS SSM om is nogal tijdrovende activiteit. Dit zou neerkomen op het kopiëren van de software. Dat is niet eenvoudig en bovendien niet erg nuttig. Het uitvoeren van een berekening met daarin alle vormen van toekomstig landgebruik is daarom niet uitgevoerd. Wel is de toename van de schade als gevolg van de uitbreiding van de woningbouw (zie Figuur 61) geschat. Dit is uitgevoerd met behulp van een gemiddelde schade per gridcel gecorrigeerd voor de overstromingsfrequentie van 14 doorbraken voor de schadecategorie woningbouw. Hiervan uitgaande levert dit een toename van de schade op van € 1.2 miljard. Dit komt neer op gemiddeld € 85 miljoen per doorbraak (HL, 2008). Een grove middeling levert dan € 340 miljoen voor 4 doorbraken, een toename van 23%.



Figuur 61 Geplande uitbreiding woningbouw HLM (Nirov, 2008)

Tabel 28 Gevoeligheid van schade ten aanzien van toekomstig landgebruik a) Huidige Situatie en b) met uitbreiding woningbouw

<i>Doorbraaklocatie</i>	<i>Scenario</i>	<i>Schade (€ miljard)</i>	<i>Vershil (%)</i>
1, 4, 32, 42	a	1.51	-
	b	1.85	23

Keuze doorbraaklocaties

Het aantal doorbraaklocaties is bewust niet te groot gekozen. Hoe meer doorbraken gemodelleerd worden, hoe meer tijdrovende modelberekeningen uitgevoerd moeten worden. De doorbraken kunnen niet tegelijkertijd in een run gerund worden, aangezien het lokale effect van bepaalde maatregelen dan niet voldoende nauwkeurig gemeten kan worden. Als meerdere doorbraken tegelijk plaats vinden gaan de overstromingen elkaar beïnvloeden, wat niet de bedoeling is. Het effect van een maatregel op een afzonderlijke doorbraak (in een bepaalde zone) is dan niet goed meer te meten. Uitgangssituatie is een eenzijdige doorbraak van de boezem, die onafhankelijk van de andere doorbraken plaats vindt. Het is gebleken dat maatregelen op niet alle doorbraken van invloed bleken te zijn. Als de doorbraken in een run gemodelleerd waren, was deze constatering niet meer mogelijk zijn geweest.

Bij verhoging van het aantal berekeningen is beter de overstromingsgevoeligheid van bepaalde plaatsen in het gebied te bepalen. Ook de effectmeting van de maatregelen wordt nauwkeuriger als voor meerdere doorbraaklocaties het effectbepaald wordt. Het dient daarom aanbeveling om op basis hiervan meer berekeningen uit te voeren met het maatregelenpakket. In de gevoeligheidsanalyse is gekeken wat het effect van het rekenen met meerdere doorbraken op de resultaten is. In Figuur 62 is weergegeven hoe de situatie eruit ziet wanneer het aantal doorbraken wordt verhoogd naar 14. Deze 14 doorbraken zijn met ongeveer gelijke tussenafstand over de HLM-boezem verdeeld. Wordt het overstromingsbeeld van 14 met die van 4 doorbraken vergeleken dan kan men concluderen dat de 4 een aardig beeld schetsen. Wel is het overstroomd oppervlak bij 14 doorbraken ongeveer 2 500 ha groter. De gemiddelde schade per doorbraak in de huidige situatie ligt door dominantie van de veroorzaakte schade aan Schiphol (bij doorbraak 4 en 32) wat hoger (€ 380 tegen € 250 miljoen) dan wanneer 14 doorbraken beschouwd worden. Bij het aantal slachtoffers is dit precies andersom (vanwege het lage aantal slachtoffers bij doorbraak 32). Kijkende naar het effect van het maatregelenpakket zijn er ook overeenkomsten zichtbaar tussen de resultaten met 4 en de resultaten met 14 doorbraken (zie Figuur 63). De gemiddelde schadeafname is in beide gevallen is ongeveer gelijk (zie Tabel 29). Het verschil in het overstroomd oppervlak is toegenomen, vermoedelijk veroorzaakt door de sterke relatie tussen de geselecteerde maatregelen en de 4 doorbraakscenario's.

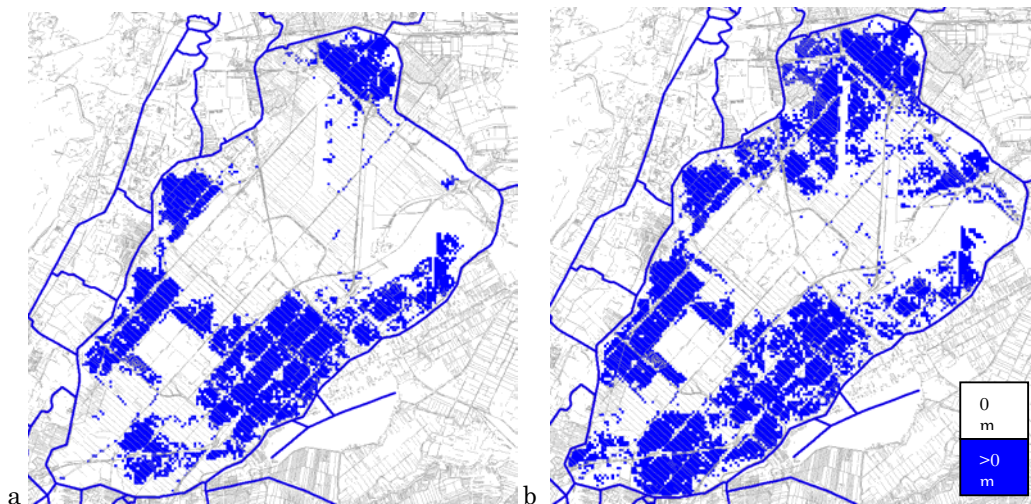
Conclusie van de analyse is dat op basis van de gemiddelde schadevermindering per doorbraak voor de HLM bij een gedegen keuze van doorbraakscenario's volstaan kan worden met het modelleren van 4 scenario's. Al bij het rekenen met slechts 4 scenario's kan een erg goed beeld verkregen worden van de invloed van verschillende maatregelen. Voor kleinere gebieden kan wellicht met nog minder scenario's al een goed beeld worden verkregen. Ondanks de zorgvuldige selectie van doorbraaklocatie blijkt verder dat deze keuze van invloed is geweest op de onderzoeksresultaten. Het is daarom van belang dat bij de interpretatie van de resultaten niet al te zeer wordt vast gehouden aan de specifieke doorbraaklocaties, maar meer te focussen op verschillende deeltrajecten van de boezem.

Tabel 29 Gevoeligheid resultaten voor 4 en 14 doorbraaklocaties a) Huidige Situatie b) met Maatregelenpakket

<i>Aantal doorbraaklocaties</i>	<i>Scenario</i>	<i>Gem. schade per doorbraak (€ miljoen)</i>	<i>Vershil (%)</i>	<i>Overstroomd oppervlak (ha)</i>	<i>Vershil (%)</i>
4	a	380		8 133	
	b	91	76	5 196	36
14	a	251		10 700	
	b	56	78	8 801	18



Figuur 62 Overstroomd oppervlak Huidige situatie a) bij 4 doorbraken en b) bij 14 doorbraken



Figuur 63 Overstroomd oppervlak na uitvoering Maatregelenpakket a) bij 4 doorbraken en b) bij 14 doorbraken

Waardebescherming

Bij uitvoering van het voorgesteld maatregelenpakket is het voor regionale doorbraken niet noodzakelijk om de gehele waardebescherming rondom Hoofddorp uit te voeren. Op basis hiervan kan besloten worden om, afgezien van de afsluiting van de waterlopen, een deel van het dorp niet te beschermen met een kade (zie Figuur 64). In de gevoeligheidsanalyse is gekeken naar het benodigde traject voor waardebescherming in het geval niet alle maatregelen uit het voorgesteld pakket worden uitgevoerd. Wat blijkt is dat bij uitvoering van minder maatregelen het gewenste waardebeschermingstraject ongeveer gelijk blijft. Kijkende naar het EDO-scenario leidt gedeeltelijke realisatie van het waardebeschermingstraject echter niet tot bescherming tegen overstromingen als gevolg van doorbraak van primaire keringen. Ten aanzien van de veiligheid van het primaire systeem lijkt het dus verstandig om toch tot volledige uitvoering van het waardebeschermingstraject over te gaan.



Figuur 64 Noodzakelijke waardebescherming bij uitvoering van het totale Maatregelenpakket, blijkt echter niet toereikend als het gaat om EDO scenario.

Samenvatting

Hieronder is in Tabel 30 een samenvatting van de gevoeligheidsanalyse weergegeven.

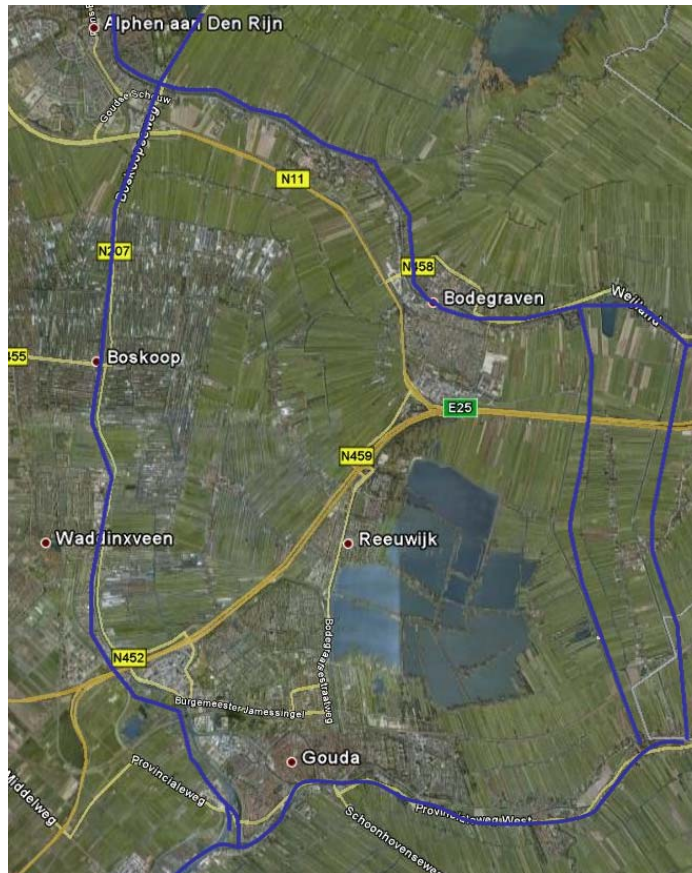
Tabel 30 Samenvatting gevoeligheidsanalyse

<i>Factor</i>	<i>Doorgevoerde verandering</i>	<i>Resultaat</i>	<i>Conclusie</i>
Keuze doorbraaklocaties	Verschil tussen resultaten met 4 en 14 doorbraken	25% groter overstroming oppervlak in huidige situatie, 40% groter overstroming oppervlak bij maatregelenpakket, gemiddelde schadevermindering per doorbraak gelijk	4 doorbraken zijn behoorlijk representatief. Door focus op de 4 worden resultaten beïnvloed.
Toekomstig Landgebruik	Uitbreiding gepland landgebruik wonen, 14 doorbraken	Gemiddeld 34% meer schade.	Sterke toename, ruimtelijke ontwikkelingen erg gevoelig voor vergroten overstromingsschade
Boezempeil	Verhoging met 0.35 m, toename hydraulische oppervlak +21%, 2 doorbraken	Gemiddeld 61% meer schade	Vrij gevoelig
Modellering waterlopen	Correctie +0.1 m (+20%), 1 doorbraak	2% minder schade	Verandering bergend vermogen dominant op verandering hydraulische capaciteit
Oppervlaktewater	Oppervlaktewater meenemen in de modellering, 500 ha, 0.1 m waterberging, 6 doorbraken	Gemiddeld 10% minder schade	Voor HLM nauwelijks van invloed
Gevoeligheid van Waardebeschermings-traject	Uitvoering van alleen boezemcompartimentering in combinatie met waardebescherming, 4 doorbraken	Geen gevolgen voor effectiviteit waardebeschermingstraject	Gevoeligheid van het gekozen traject is niet zo groot

I: Toepassing Leidraad

Inleiding

In deze bijlage wordt gekeken naar de waarde van de ontwikkelde leidraad voor het nemen van schade beperkende maatregelen in andere gebieden. Het gebied GB is hiervoor als voorbeeld genomen. Deze polder is gelegen ten noorden van de stad Gouda en omvat ook een deel van het centrum van deze stad (zie Figuur 65). Het maakt onderdeel uit van het beheersgebied van Rijnland en bestaat uit ontgonnen en on-ontgonnen veengronden. Het is sterk onderhevig aan bodemdaling en wordt doorkruist door de A12. Verder zijn er nog twee spoorwegtracés in het gebied gelegen; Gouda-Utrecht en Alphen aan de Rijn-Woerden. Stedelijk gebied is aanwezig ten zuiden van de A12 (Gouda), in het noorden (Bodegraven) en het westen van het gebied (Boskoop). De Reeuwijkse plassen maken ook onderdeel uit van het gebied.



Figuur 65 Het gebied Gouda/Boskoop, omringd door boezemstelsel en Oude Rijn (GoogleEarth, 2008)

Gegevens

Om de leidraad schadebeperking te kunnen toepassen zijn gegevens over landgebruik, hoogteligging en watersysteem verzameld. Daarnaast zijn voor doorbraken op 6 verschillende locaties in de omringende boezem overstromings- en schadeberekeningen uitgevoerd. De boezem omringt het gebied aan west-, noord- en oostzijde. Aan de zuidkant wordt het gebied begrensd door de primaire kering van de Hollandsche IJssel (zie Figuur 65 en Figuur 70). De verschillenvormen van landgebruik zijn weergegeven in. Het toekomstig landgebruik verschilt niet veel van het huidige. In de hoogteligging vallen de Middelburg en Tempel(MT) Polder (5 m – NAP), de Reeuwijkse plassen en de hoger gelegen A12 op (zie Figuur 71).

De schade als gevolg van doorbraken in de omringende boezem ligt tussen de € 2 en € 265 miljoen. De gemiddelde schade als gevolg van een doorbraak is daardoor ruim lager dan in de HLM, gemiddeld € 84 miljoen tegen € 380 miljoen in de HLM. Een kwetsbare locatie in het gebied is de MT-Polder. Deze polder is een oude droogmakerij. Dit daardoor ten opzichte van de rest van het gebied relatief laag gelegen deel van de polder, loopt bij doorbraken aan de westzijde van de boezem als een badkuip vol (zie Figuur 75a). Ook het centrum van Gouda is kwetsbaar bij doorbraken ten zuiden van de A12 (zie Figuur 75b). De snelweg A12 functioneert in de huidige situatie al enigszins als een compartimenteringskering.

Als het aantal slachtoffers gemonetariseerd wordt blijkt dit aandeel vergelijkbaar te zijn met die in de HLM (ongeveer 6% van de schade berekend met HIS SSM). Ook in dit gebied is het aantal slachtoffers dus niet verwaarloosbaar. De hierboven beschreven gegevens zijn weergegeven in de laatste paragraaf van deze bijlage.

Toetsing

De waarde van de hierboven beschreven leidraad is getoetst op het gebied GB. Per maatregel is geanalyseerd wat op grond van de leidraad de kansen zijn. Na het toepassen van de leidraad zijn de resultaten hiervan vergeleken met de resultaten uit het onderzoek van HydroLogic (HL, 2008). Op basis hiervan is de waarde van de leidraad beoordeeld.

Gebiedscompartimentering

Het *landgebruik* in GB is niet-homogeen verdeeld. Een sterke concentratie van hoogwaardige vormen van landgebruik bevindt zich in het zuiden in Gouda. Hierdoor is de compartimenteringsstrategie secundaire kering minder geschikt. Het opdelen van het zuidelijke en het noordelijke deel van het gebied door gebruik te maken van de al hoger gelegen snelweg A12 is wel kansrijk. Dit lijnelement kan het zuiden van het gebied beschermen tegen overstromingen vanuit het noordelijke deel. Uit de hoogteligging blijkt dat de A12 een lijnelement is uit de categorie b. Uit de *hoogteligging* van het gebied blijkt dat de hoogteverschillen niet erg groot zijn. Het sturen van water met behulp van compartimenteringswerken is daardoor niet goed mogelijk. Een compartimenteringsmaatregel heeft in dit geval vooral de functie om het water tegen te houden. Als de *overstromingsberekening* geanalyseerd wordt kan opgemerkt worden dat het transport van de overstroming voornamelijk door de waterlopen plaats vindt. Wat opvalt is dat overstromingen ten noorden van de A12 het stedelijk gebied ten zuiden van de A12 nauwelijks bereiken, in ieder geval niet tot schade leiden. Daardoor heeft compartimentering van de waterlopen en met de A12 weinig nut. De te voorkomen schade is erg klein. Schade aan infrastructuur blijkt ook niet erg groot te zijn, wat er niet voor pleit om hoogwaardige lijnelementen verhoogd aan te leggen. Als de schadegevoelige gebieden in beschouwing worden genomen dan kan geconcludeerd worden dat het het meeste nut heeft om Gouda en Bloemendaal te beschermen. Hier is de schade per oppervlakte eenheid immers het grootst.

Retentiegebied

In Gouda-Boskoop is het *landgebruik* hoofdzakelijk onder te verdelen in stedelijk gebied, landbouw en oppervlaktewater (Reeuwijkse Plassen). Het stedelijk gebied vormt een compact gebied, vooral wat Gouda betreft. Het gebied met landbouw en oppervlaktewater is hierdoor bijzonder geschikt om water te bergen ten gunste van bijvoorbeeld het stedelijk gebied bij Gouda. Voor wat het *watersysteem* betreft vallen vooral de Reeuwijkse Plassen op. Dit is een groot oppervlak dat ingezet kan worden als retentiegebied. Kijkende naar de *hoogteligging* valt de ligging van de MT-polder op. Deze polder met vooral laagwaardige vormen van *landgebruik* ligt erg diep en uit enkele *overstromingsberekeningen* blijkt dat het water met name vanuit de noordelijke en westelijke doorbraken vanzelf al de MT-polder instroomt. Ontwikkelingen in het landgebruik sturen aan op gebruik van (een deel van) de polder als zone voor piek- en seizoensberging (Royal Haskoning, 2004). Hier liggen dus meekoppelkansen. Verder valt op dat niet in alle gevallen de maximaal mogelijke overstromingsdiepte in de MT-polder bereikt wordt. Het sturen van water naar de MT-polder kan nuttig zijn om beter gebruik te maken van de bergingscapaciteit, die in de huidige situatie nog niet volledig benut wordt. Ook uit *schadeberekeningen* van de huidige situatie blijkt dat er relatief gezien weinig schade in de MT-polder optreedt. Waterberging op de Reeuwijkse plassen levert zoals verwacht geen schade op. Om de schade verder te beperken en om de inwoners van het gebied tegemoet te komen, kan er eventueel voor worden gekozen om de aanwezige bebouwing in de MT-polder (Reeuwijk Dorp en Tempel) aanvullend tegen overstromingen te beschermen. Op grond van bovenstaande toepassing van de leidraad wordt aannemelijk dat waterberging in

het aan te wijzen retentiegebied MT-polder en in de Reewijkse Plassen een kansrijke maatregel is.

Boezemcompartimentering

De potentiële schade aan *landgebruik* dat op de boezem gelegen is, is ook in GB groot. De te voorkomen schade aan boezem en bovenland bedraagt bij 1 m waterstandsaling in de boezem van de Gouwe ongeveer € 1.6 miljoen/km (N&S Consultants, 2007). De exacte schade aan boezem en bovenland in de huidige situatie kan momenteel niet worden gemodelleerd met het HIS SSM. Bij het bepalen van het effect van deze maatregel is het verstandig om hier rekening mee te houden. De polder is redelijk groot en over het geheel gezien niet erg diep gelegen (2 m – NAP). Verder staan er geen grote wateroppervlakken direct met de boezem in verbinding. Zowel in de polder als in de boezem bevinden zich geen BWO-keringen. De toevoer van de Zieme te Zwammerdam kan wel met een BWO worden afgesloten evenals de Gouwe nabij Alphen aan de Rijn met een Rijndijksluis. Voor mobiele compartimenteringswerken kan worden uitgeweken naar bruggen. Hiervoor bestaan juist in het noorden en westen van het gebied meer mogelijkheden. Boezemcompartimentering lijkt op basis van het *watersysteem* en de *hoogteligging* daarom een kansrijke maatregel. Wat uit de *overstromingsberekeningen* blijkt is dat door de geringere afmeting van de boezem in het oosten van het gebied er bij de bres kan worden gecompartmenteerd ($v < 1$ m/s in de initiële toestand). In het noordelijke en westelijke deel van de boezem is dit niet mogelijk. Hier is boezemcompartimentering met mobiele keringen dus noodzakelijk. Uit de *overstromingsberekening* blijkt verder dat het gebied als geheel voldoende groot is om na een doorbraak niet als een bakkuip vol te lopen.

Waterloopcompartimentering in de polder

Deze maatregel onderscheidt zich van normale compartimenteringswerken doordat het in de ene situatie kan worden gebruikt om het water door te laten stromen, maar in de andere situatie moet voorkomen dat water doorstroomt. De A12 wordt nabij Gouda gekruist door een drietal hoofdwaterlopen. Afsluiting van deze waterlopen kan water ervan weerhouden om van het noordelijk deel naar het zuidelijk deel te stromen. Het verschil in *landgebruik* ten noorden en ten zuiden van de A12 is al beschreven. Uit de *overstromingsberekening* blijkt dat het water zich voornamelijk door het systeem van de hoofdwaterlopen verplaatst. Dit onderstreept het effect dat waterloopcompartimentering kan hebben. In combinatie met compartimentering door de hoger gelegen A12 kan dit een kansrijke maatregel zijn.

Normaal gesproken zijn de doorgangen in de watergangen geopend. Hierdoor is het voor doorbraken in het stedelijk gebied nabij Gouda ten zuiden van de A12 mogelijk om het water richting het minder schadegevoelige noorden van het gebied te leiden. Het tegenhouden van het water bij doorbraken ten noorden van de A12 om het zuiden te beschermen blijkt echter gezien de *overstromings-* en *schadeberekening* niet effectief te zijn (zie maatregel gebiedscompartimentering).

Conclusie

Conclusie van het volgen van de leidraad voor GB is dat naast boezemcompartimentering in het noorden en westen van het gebied, het inrichten van twee retentiegebieden een kansrijke maatregel is. Waterloopcompartimentering in combinatie met gebiedscompartimentering met de partitie strategie lijkt gezien de overstromingsberekening in de huidige situatie geen kansrijke maatregel.

De door HydroLogic voor Rijnland voorgestelde maatregelen, waarvan de effecten met behulp van Sobek in kaart gebracht zijn, om in GB de overstromingsschade te beperken, zijn als volgt (HL, 2008)(zie Figuur 66).

- Boezemcompartimentering en het aanspreken van de gemaalcapaciteit in de boezem ten zuiden van Gouda.
- Het inrichten van de MT-polder als retentiegebied, met waardebescherming van de hierin gelegen woonkernen (Tempel en een deel van Reewijk Dorp).

- Berging op het oppervlaktewater (Reewijkse Plassen).

Met dit maatregelenpakket is een schadereductie mogelijk van 50% (HL, 2008).

Evaluatie

Hieronder worden de verschillen en overeenkomsten van bovenstaande aanbevelingen van HydroLogic voor GB met de uitkomsten van de hierboven besproken leidraad besproken. Enkele aanvullingen die op basis van deze toetsing konden worden gemaakt zijn verwerkt in de leidraad.

Gemaalcapaciteit

Door inzet van het boezemgemaal in combinatie met boezemcompartimentering blijkt bij een doorbraak bij Gouda een halvering van de schade mogelijk. Alleen boezemcompartimentering levert 20% schadevermindering op. De maatregel werkt voor meerdere doorbraken op de Gouwe. De organisatorische voorbereidingstijd om deze maatregel uit te voeren is hier nog wel een aandachtspunt. Het gemaal moet verder direct na het optreden van de calamiteit inzetbaar zijn. Vooral de tijdsduur van de overstroming kan met de inzet van het gemaal sterk verkort worden (HL, 2008). Aangezien de tijdsduur van de overstroming niet in het HIS SSM is opgenomen, ligt de werkelijke schadevermindering voor deze maatregel waarschijnlijk nog hoger dan uit schadeberekening met de maatregel kan blijken.

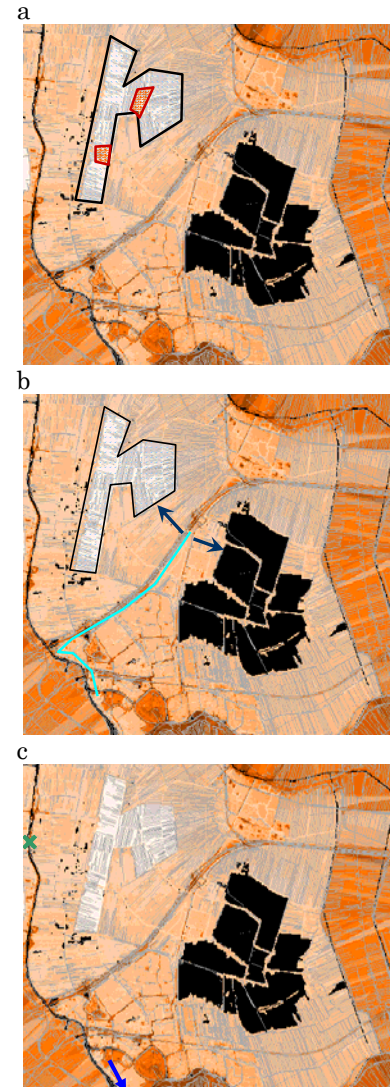
In de HLM was deze maatregel niet mogelijk, omdat de boezem zich hier nergens in de directe nabijheid van een gemaal bevindt die het water in het primaire watersysteem kan pompen. Deze maatregel is daarom aan de Leidraad toegevoegd.

Stedelijk gebied nabij de boezem

Woonkernen die direct aan de boezem liggen zijn ook in GB erg lastig te beschermen. Zo biedt de maatregel gebiedscompartimentering in de directe nabijheid van de boezem niet veel soelaas. Een voorbeeld hiervan zijn de woonwijken nabij de boezem in Gouda. Hier zou men zich voor wat betreft maatregelen dan ook meer moeten richten op het terugdringen van de kans van doorbraak in plaats van op de gevolgen. Lokale dijkverhoging kan dan uitkomst bieden. Dit soort lokale dijkverhoging onderscheidt zich van de gangbare op de gehele dijkkring gerichte dijkverhoging, omdat het slechts een deel van de dijkkring betreft. Waar de afstand tussen boezem en stedelijk gebied weer groter wordt kunnen schadebeperkende maatregelen namelijk weer uitkomst bieden.

Bodemdaling

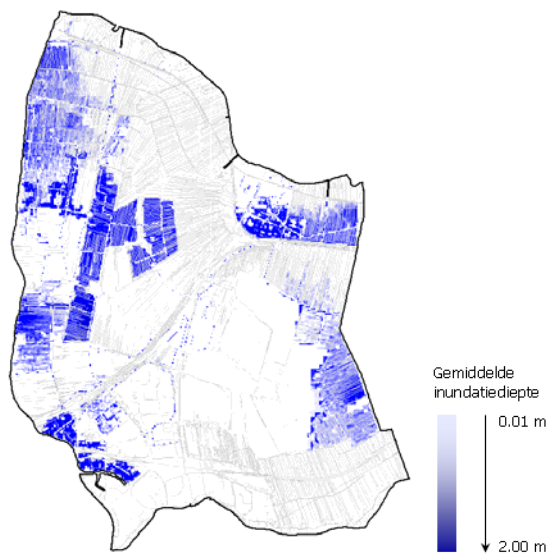
Afhankelijk van de grondsoort, de activiteiten in het gebied en het peilbeheer kan de bodemdaling geschat worden. In tegenstelling tot de HLM speelt in GB bodemdaling een grote rol. In GB moet men rekening houden met bodemdalingen tot 0.7 m in 2050 (zie Figuur 72). In de toekomst gaat de overstromingsdiepte en daardoor ook de schade toenemen. Het is in dit



Figuur 66 Maatregelen in GB a) Berging (blauw) en waardebescherming (rood) in MT-polder b) Berging in Reewijkse plassen c) Boezemcompartimentering en inzet van boezemgemaal (HL, 2008).

geval waardevol om te checken of het voorgestelde maatregelenpakket ook inclusief bodemdaling aan de wensen voldoet. Het is dan wenselijk om met behulp van gegevens over bodemdaling een verwachte toekomstige hoogteligging samen te stellen en hiermee simulaties uit te voeren.

Voor GB werkt de bodemdaling in alle gevallen schadeverhogend. Voor één van de doorbraken neemt de schade enorm toe. Als gevolg van de bodemdaling wordt het overstromingsverloop voor deze doorbraak sterk beïnvloed, waardoor Bodegraven veel meer dan in de huidige situatie met een overstroming vanuit de boezem te maken krijgt (vergelijk Figuur 73a en Figuur 67). Het belang van de bodemdaling in het gebied wordt hiermee onderstreept. Op locaties in het gebied die erg onderhevig zijn aan bodemdaling kunnen overstromingsbestendige technieken toegepast worden of overwogen worden of er niet beter elders gebouwd kan worden.



Figuur 67 Overstromingsbeeld Gouda/Boskoop na uitvoer maatregelenpakket, inclusief bodemdaling (HL, 2008)

onder voorwaarde dat er voldoende oppervlaktewater aanwezig is om een significante hoeveelheid water te kunnen bergen.

Waardebescherming

Er kan voor gekozen worden om de waarde binnen een retentiegebied te beschermen tegen overstromingen. Dit is vooral van belang als het niet mogelijk is om de in het gebied aanwezige functies uit te kopen. Als het om een paar boerderijen gaat, is dit een goede optie, dit is echter niet altijd het geval. Een goed voorbeeld hiervan is de MT-polder waar een woonwijk van Reewijk Dorp en lintbebouwing van Tempel in het retentiegebied gelegen zijn. De leidraad voorziet op dit moment niet in een oplossing voor dergelijke bestaande functies. In aanvulling daarop zou een afweging opgenomen kunnen worden tussen de verschillende mogelijkheden die hiertoe bestaan: uitkopen, waarde beschermen, overstromingsbestendige inrichting, niets doen (particulier initiatief) etc..

Op basis van het in het gebied GB geconstateerde belang van de bodemdaling is het noodzakelijk om de leidraad uit te breiden. Naast de huidige hoogteligging is de toekomstige hoogteligging (bijvoorbeeld 2050) in de leidraad opgenomen. Ook kan eventueel een overstromingsberekening voor deze toekomstige situatie (zonder maatregelen) worden uitgevoerd. Op deze manier kunnen knelpunten met het oog op bodemdaling in de toekomst worden opgespoord en kunnen te nemen maatregelen daarop worden afgestemd.

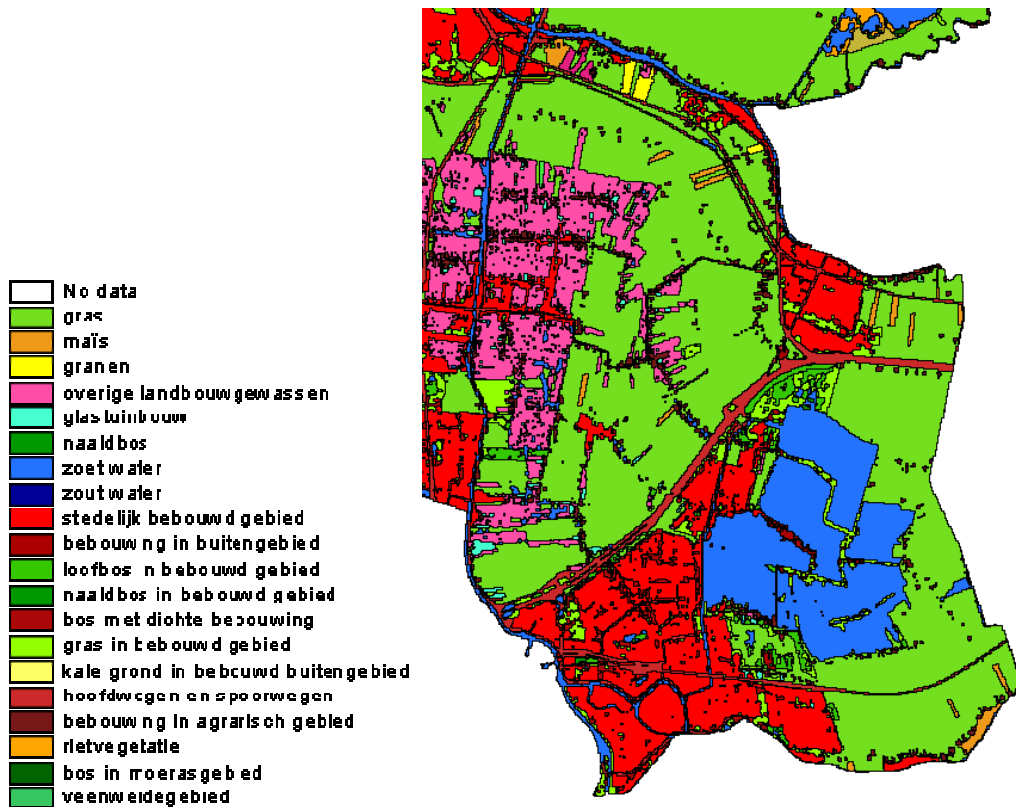
Oppervlaktewater

Aangezien in het gebied GB een groot wateroppervlak aanwezig is, biedt dit kansen voor berging van een overstroming op het oppervlaktewater. Deze maatregel is daarom toegevoegd aan de leidraad,

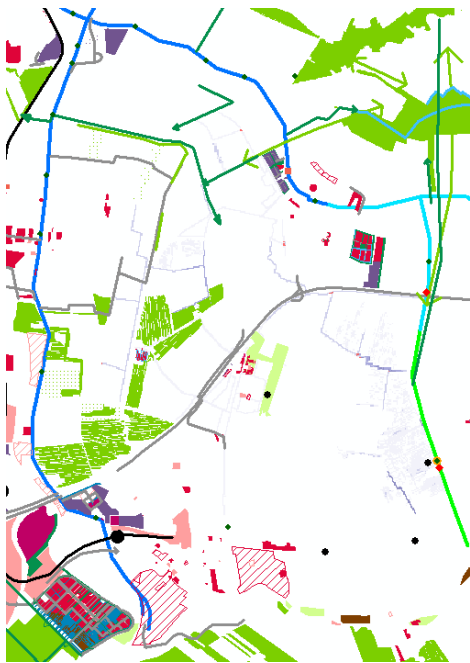
Gegevens Gouda/Boskoop

Hieronder zijn de in de toepassing van de leidraad gebruikte gegevens voor GB weergegeven.

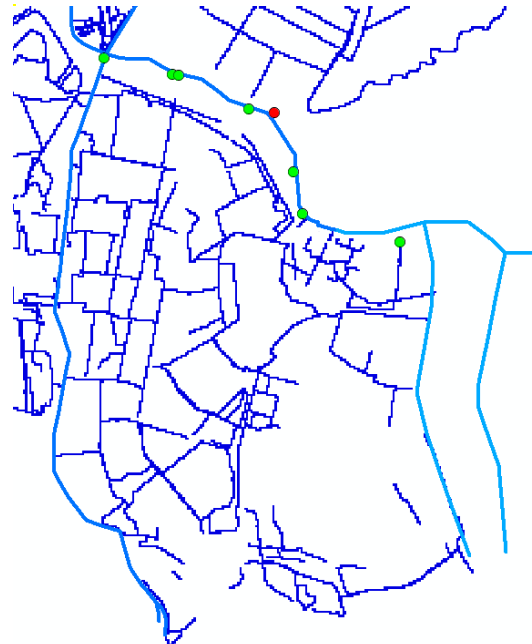
1. Landgebruik, a) huidig en b) toekomstig
2. Watersysteem
3. Hoogteligging, a) huidig en b) toekomstig
4. Overstromingsberekening
5. Schadeberekening



Figuur 68 1a: Huidig landgebruik Gouda/Boskoop (Alterra, 2004)

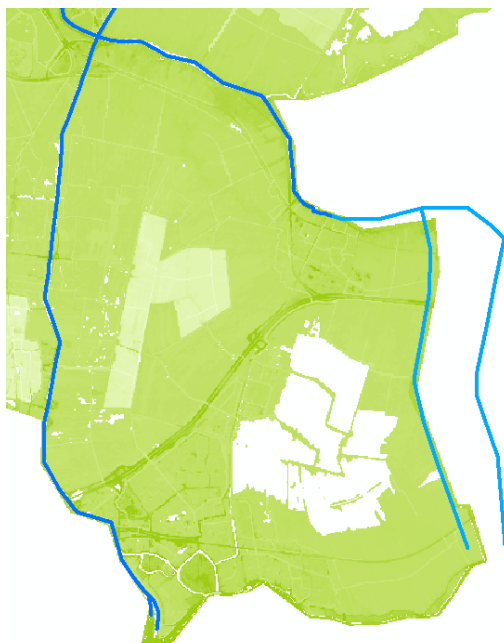


Figuur 69 1b: Ontwikkelingen in het landgebruik, zowel vlakdekkende als lijnelementen, voor Gouda/Boskoop (Nirov, 2008)



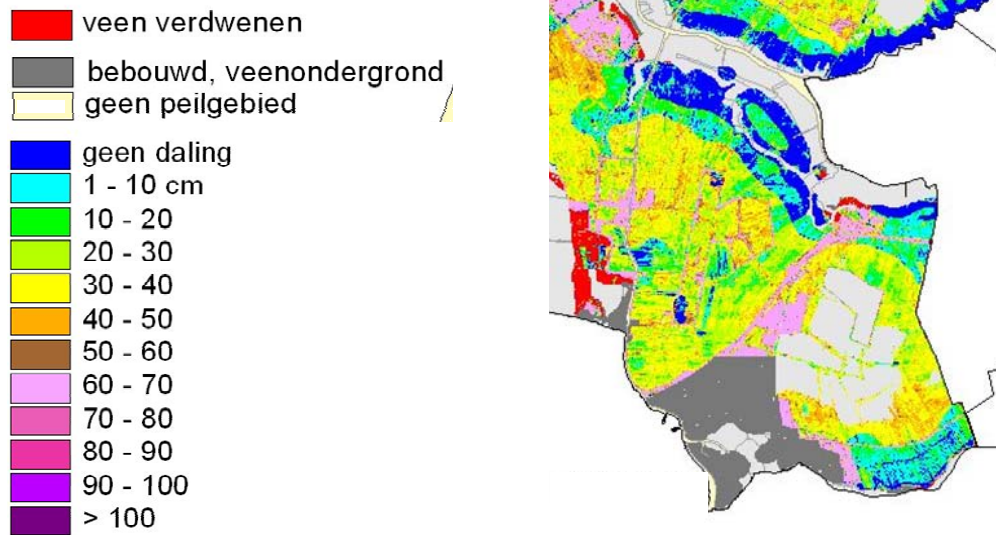
● rijndijksluis (van noord naar zuid kerend)
● bwo kering

Figuur 70 2: Watersysteem Gouda/Boskoop, met boezem, Reeuwijkse plassen en hoofdwaterlopen (HL, 2007a)

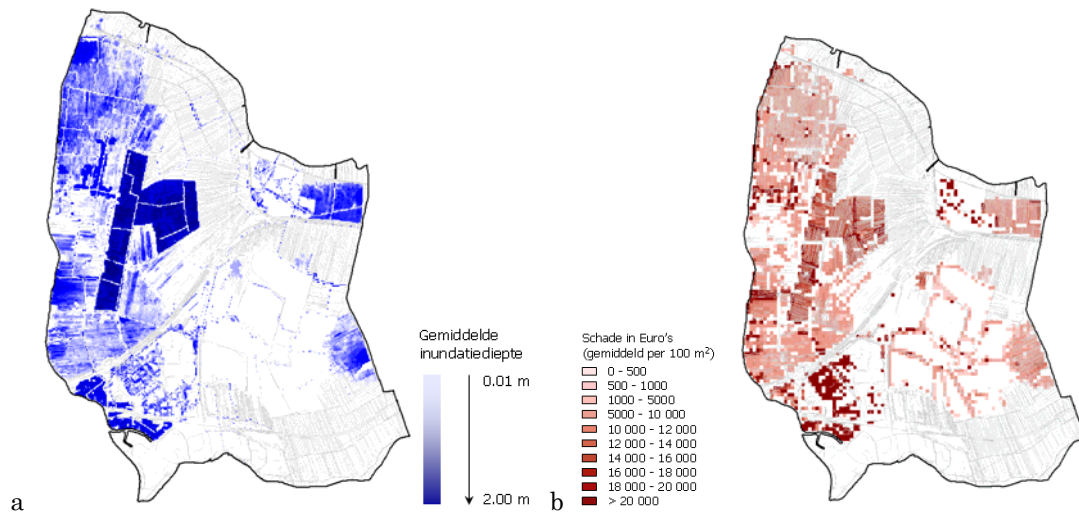


High : 35.52
Low : -8.45

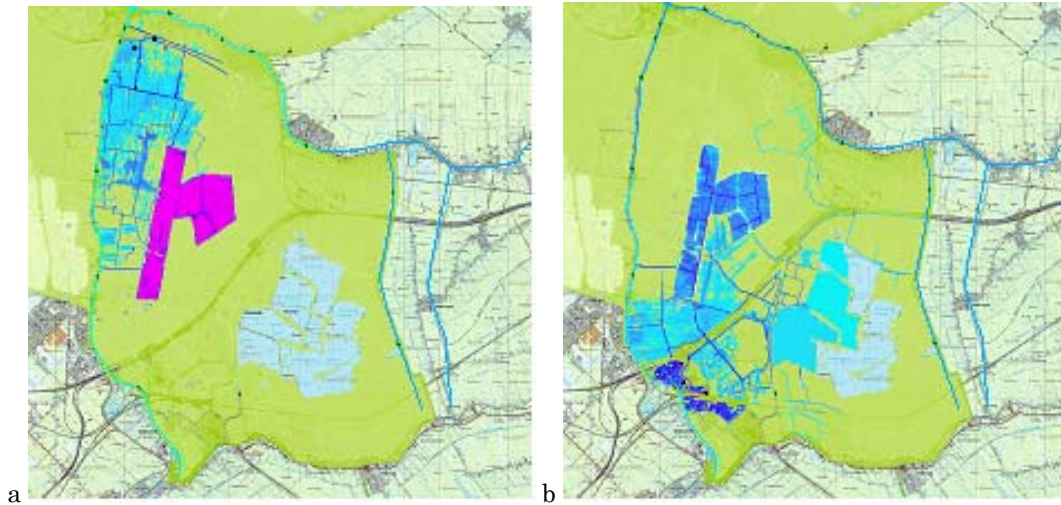
Figuur 71 3a: Hoogteligging in m NAP Gouda/Boskoop huidige situatie (gecorrigeerd AHN)(HL, 2007a)



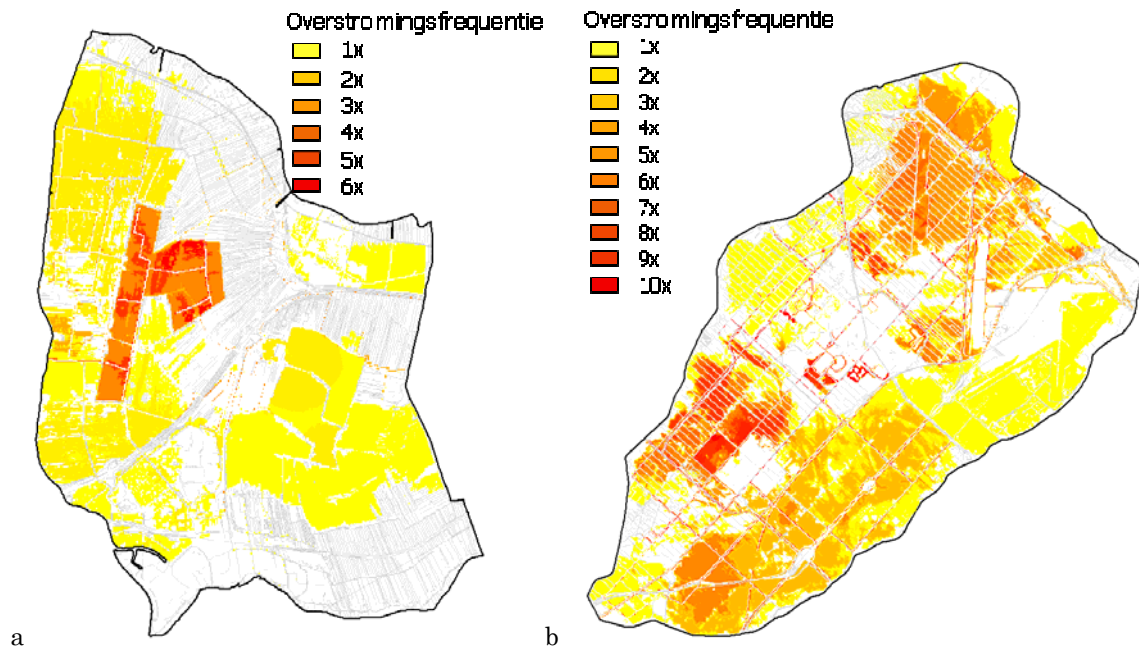
Figuur 72 3b: Bodemdaling in 2050 voor Gouda/Boskoop met het huidige waterbeheer en klimaat (Jansen et al., 2007)



Figuur 73 a) 4: Overstromingsbeeld Gouda/Boskoop in de Huidige Situatie en b) 5: Schadebeeld voor Gouda/Boskoop in de Huidige situatie (HL, 2008)



Figuur 75 Overstromingsbeeld als gevolg van een specifieke doorbraak voor GB beide in de Huidige Situatie
a) Doorbraaklocatie 196; MT-polder loopt vol en b) Doorbraaklocatie 193; Gouda wordt getroffen (HL, 2008)(HL, 2007a)



Figuur 74 Overstromingsfrequentie kaarten van a) Gouda/Boskoop en b) Haarlemmermeer (HL, 2008).

