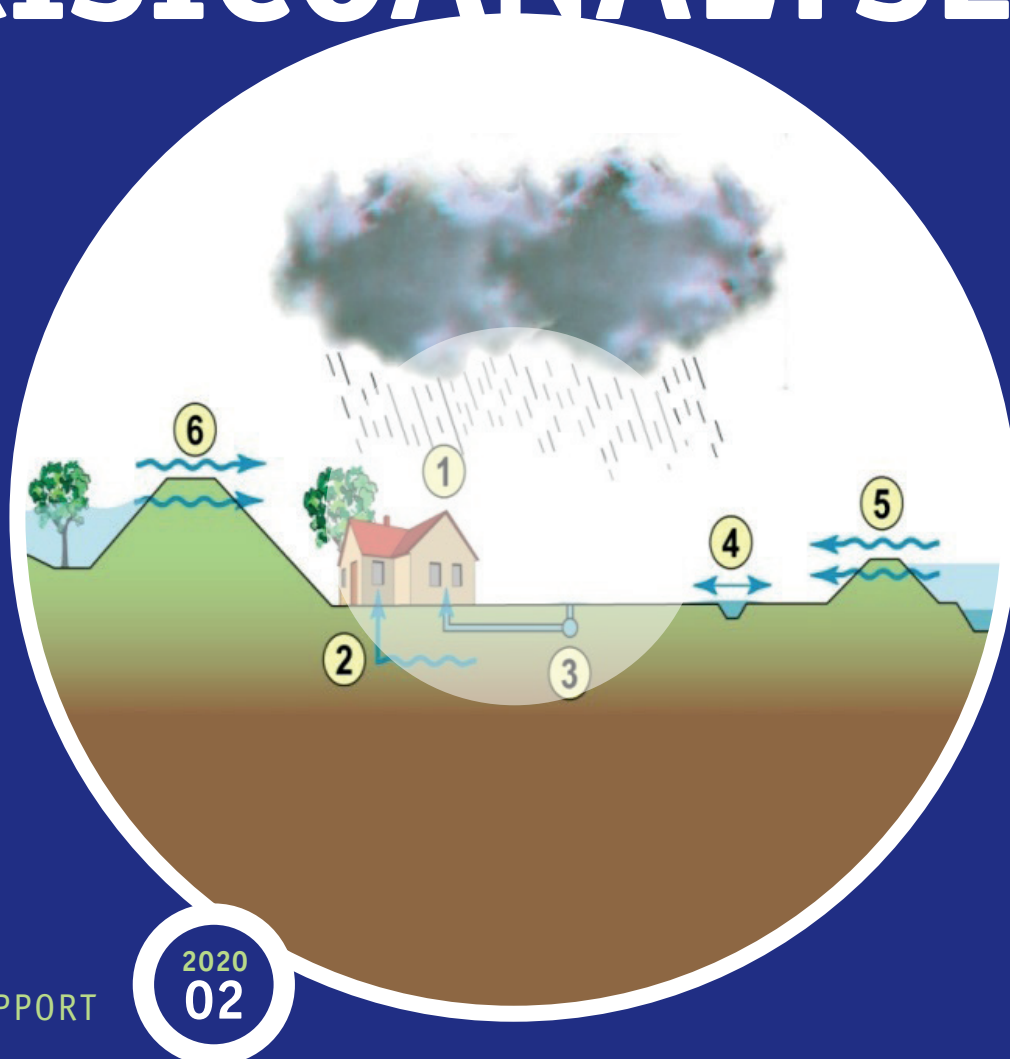


INTEGRALE RISICOANALYSE



RAPPORT

2020
02

ISBN 978.90.5773.885.2



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Bas Kolen
Bart Strijker
Hanneke Vreugdenhil
Carolien Wegman

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2020-02
ISBN 978.90.5773.885.2

Copyright Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.
Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

TEN GELEIDE

EEN INTEGRALE RISICOBENADERING KAN IN VEEL GEVALLEN TOT KOSTENBESPARING LEIDEN.

De grote waarde van een integrale risicoanalyse is dat verschillende risico's in verhouding tot elkaar worden beoordeeld. Bij een integrale beschouwing van de veiligheid kunnen mogelijke ingrepen en oplossingen in het regionale watersysteem of aan de waterkering afgewogen worden. Hierdoor kan kostenbesparing bereikt worden, doordat investeringen ook integraal worden bekeken.

De integrale risicoanalyse is al uitvoerbaar en biedt potentie voor de toekomst, maar vergt nog wel vakmanschap. Een integrale risicoanalyse kan in sommige situaties leiden tot een meer doelmatige (kosteneffectieve) aanpak dan de sectorale benadering, waarin ieder deel van het watersysteem afzonderlijk wordt bekeken. Dit vergt wel meer samenhang en samen-spel tussen de stakeholders die de belangen in de verschillende watersystemen, de ruimtelijke inrichting en de crisisbeheersing behartigen.

Bij een integrale risicoanalyse kijken we naar de combinatie van kans en effect. Op basis van een systeemanalyse worden alle oorzaken van wateroverlast meegenomen: piekbuien, langdurige neerslag en/of falen van waterkeringen. Vervolgens is de vraag hoe we het risico kunnen reduceren door het nemen van maatregelen in het watersysteem, de ruimtelijke omgeving en/of de crisisbeheersing. De risicoreductie door bepaalde maatregelen wordt in de beschouwde casussen steeds tweemaal geëvalueerd, eerst volgens de reguliere aanpak, waarbij de maatregel uitsluitend binnen het betreffende 'systeem' wordt beoordeeld en daarna met behulp van een integrale risicoanalyse.

De integrale risicoanalyse heeft twee toepassingen. In geval van een knelpunt kan de integrale risicoanalyse een handvat zijn om met een bredere scope te kijken naar oplossingen. De integrale risicoanalyse kan ook worden gebruikt om in kaart te brengen wat de risico's zijn in een gebied, en vanuit deze risico's de eisen aan verschillende onderdelen van het watersysteem te bepalen. Deze eisen kunnen worden opgesteld vanuit het perspectief van een MKBA, maar kunnen ook worden gecombineerd met een minimale kans op een bepaalde mate van wateroverlast. De integrale risicoanalyse brengt zo meer samenhang tussen de verschillende facetten van waterbeheer en het geeft een betere basis om uit te leggen welke risico's wel en niet worden geaccepteerd, zodat andere actoren vervolgens hier ook beter op kunnen acteren.

Deze verkenning is een eerste stap en benoemt nog een aantal aandachtspunten. Om de methode goed te laten werken is behalve inzicht en systeemkennis ook maatwerk nodig. De STOWA blijft werken aan de verdere ontwikkeling van de integrale risicoanalyse. Hierdoor draagt de STOWA bij aan een doelmatige aanpak bij het in kaart brengen en oplossen van waterrisico's.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

MANAGEMENTSAMENVATTING

Door de ‘Commissie Wateroverlast’ is geconstateerd dat er behoefte is aan een integraal inzicht in de waterrisico’s. In opdracht van de Commissie Wateroverlast wordt onderzoek gedaan naar de potentie van integrale risicoanalyse voor waterbezwaar. In april 2018 is door HKV op verzoek van de Commissie Wateroverlast een overzicht gemaakt van dilemma’s en kennisvragen rondom de integrale risicoanalyse. Vervolgens zijn er vier cases uitgevoerd, waarin de integrale risicoanalyse is toegepast. Voor deze uitwerking is ook een integraal raamwerk opgesteld.

Integraal risico staat voor het risico dat gebaseerd is op de kans van optreden en de gevolgen. De kans van optreden volgt uit het functioneren van verschillende watersystemen (extreme neerslag in stedelijke en de landelijke omgeving, doorbraken van primaire en regionale waterkeringen). De gevolgen worden bepaald door het ontwerp van de ruimtelijke omgeving en de crisisbeheersing. Het risico dat na deze ingrepen resteert is het ‘acceptabel risico’.

Voor het uitwerken van de integrale risicoanalyse is een raamwerk opgesteld. Dit raamwerk is toegepast in vier cases:

- Overstorten Woerden: Hierbij is gekeken naar het stedelijke en regionaal watersysteem en regionale waterkeringen in een poldergebied.
- Compartimentering Rijnland: Hierbij is gekeken naar het regionale watersysteem, regionale keringen en crisisbeheersing.
- Nieuw (waardevol) object: Hierbij is gekeken naar het regionale watersysteem, regionale keringen en de ruimtelijke omgeving.
- Breda: Hierbij is gekeken naar het stedelijke en regionaal watersysteem in een hellend gebied.

De integrale risicoanalyse aan de hand van het raamwerk is succesvol toegepast. In de uitvoering van de cases is gebruik gemaakt van reeds bestaande hydrologische modellen en schade-modellen en de nieuwe (STOWA) neerslagstatistieken. Ook zijn de beheerders betrokken bij de uitwerking van de cases. De studie heeft geleid tot de volgende conclusies en aanbevelingen:

1. Het uitvoeren van een integrale risicoanalyse is mogelijk. Het maakt inzichtelijk wat de bijdrage van verschillende watersystemen is, en het kan gebruikt worden om het effect van maatregelen te evalueren.
2. De scope van het beslisprobleem in combinatie met gebiedskenmerken bepalen in welke mate het zinvol is om correlaties tussen watersystemen mee te nemen. Het is dus niet altijd noodzakelijk om integraal te kijken. Overigens is ook opnieuw geconcludeerd dat de kans van optreden van een gebeurtenis van waterbezwaar niet één op één gekoppeld kan worden aan de kans van een neerslagvolume.
3. Het uitvoeren van een integrale risicoanalyse vereist:
 - Dat risicoparameters onder dezelfde noemer worden gebracht en de analyse wordt uitgevoerd op het juiste schaalniveau. Als voorbeeld van parameters onder dezelfde noemer brengen, noemen we de gebruikte faalkansen. Voor de integrale risicoanalyse gaat het om de kans van optreden van waterbezwaar, en niet om de kans van overschrijden van be-

paalde waterstanden. Als voorbeeld voor het juiste schaalniveau noemen we als voorbeeld dat de gehele stroomgebieden worden beschouwd.

- Dat 'aannemelijk' wordt geschematiseerd. Als voorbeeld noemen we de periode waarin het water een gebied kan binnenstromen na een doorbraak van een regionale waterkering. Als tweede voorbeeld noemen we de vertaling van puntneerslag naar gebiedsneerslag. Aannemelijk en beter schematiseren kan in de huidige sectorale benadering ook al leiden tot flink andere inzichten (bijvoorbeeld de normklassen voor regionale waterkering).
 - Dat alle maatschappelijke kosten worden meegenomen. Als voorbeeld noemen we schades aan boezemsystemen na een doorbraak en gewasschade bij extreme neerslag, die in de huidige uitwerking niet worden meegenomen.
4. Er zijn veel aandachtspunten voor de schademodeltering. De huidige schattingen van schades, met name met de Waterschadeschatter, roepen vragen op en worden als te hoog ervaren. Dit wordt veroorzaakt door de schadefuncties maar ook de afstemming in de ruimtelijke resoluties en basisbestanden van het hydrologisch model en het schademodel. Aanbevolen wordt om de schadefuncties te verbeteren.

Tenslotte wordt geconcludeerd dat de integrale risicoanalyse een verborgen potentieel heeft. Met de huidige aandacht voor ruimtelijke adaptatie en klimaatverandering kan gesteld worden dat de huidige ontwerpfilosofie niet meer voldoet. Dat is een belangrijke constatering, omdat we weten dat de huidige normen voor regionale wateroverlast strenger zijn dan het economisch optimum uit een MKBA en dat de risico's van doorbraken van regionale keringen lager zijn dan nu vaak gepresenteerd.

De acceptatie van waterbezwaar staat nu veel meer centraal in de publieke opinie dan de eisen aan verschillende watersystemen. Indien er een acceptabel risico (gebaseerd op schade risico maar ook op maatschappelijke impact) als 'norm' of 'ontwerpcriterium' wordt gehanteerd kan op basis van de integrale risicoanalyse een mix aan eisen worden bepaald voor de verschillende watersystemen, de ruimtelijke omgeving en de crisisbeheersing. Hiermee kan dus veel meer ontwerpend worden gekeken en kan rekening worden gehouden met gebiedskenmerken. Hierbij kunnen de huidige normstellingen dus worden losgelaten en worden vervangen door een risico op waterbezwaar. Het ligt voor de hand om primaire keringen hierbij buiten beschouwing te laten gezien de aard van dit risico (slachtoffers, omvang).

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

INTEGRALE RISICOANALYSE

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	MANAGEMENTSAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doelstelling	3
1.3	Begrippenkader	4
1.4	Begeleiding van het onderzoek	6
1.5	Selectie van typen cases	6
1.6	Leeswijzer	6
2	UNIFORM RAAMWERK INTEGRALE RISICOANALYSE	8
2.1	Risicoanalyse op hoofdlijnen	8
2.1.1	Belastingen en randvoorwaarden	9
2.1.2	Correlaties	10
2.1.3	Waterbezwaar	11
2.1.4	Effecten	12
2.1.5	Risico's en kosten	12
2.2	Stappenplan integrale risicoanalyse	12
2.2.1	Stap 1: Opstellen systeembeschrijving en selectie stakeholders	12
2.2.2	Stap 2: Uitwerking risico's voor referentiesituatie	13
2.2.3	Stap 3: Vaststellen knelpunt(en) en opgave	16
2.2.4	Stap 4: Uitwerking risico's voor situaties met maatregelen	17
2.2.5	Stap 5: Besluitvorming	18
3	CASE WOERDEN	19
3.1	Inleiding	19
3.2	Bijdrage verschillende watersystemen aan integrale risico	20
3.3	Beslisprobleem case Woerden	20
3.4	Integrale risicoanalyse	20
3.5	Bevindingen in case Woerden	22
3.6	Reflectie voor de integrale risicoanalyse	23

4	CASE RIJNLAND	24
4.1	Inleiding	24
4.2	Bijdrage verschillende watersystemen aan integrale risico	24
4.3	Beslisprobleem case Rijnland	25
4.4	Integrale risicoanalyse	27
4.5	Bevindingen in case Rijnland	28
4.6	Reflectie voor de integrale risicoanalyse	29
5	CASE OBJECT - DATACENTRUM	30
5.1	Inleiding	30
5.2	Bijdrage verschillende watersystemen aan integrale risico	30
5.3	Beslisprobleem case object	31
5.4	Integrale risicoanalyse	31
5.5	Bevindingen in case Object	32
5.6	Reflectie voor de integrale risicoanalyse	32
6	CASE BREDA	33
6.1	Inleiding	33
6.2	Bijdrage verschillende watersystemen aan integrale risico	34
6.3	Beslisprobleem case Breda	35
6.4	Integrale risicoanalyse	35
6.4.1	Gebruikte informatie	35
6.4.2	Correlaties	36
6.4.3	Resultaten	37
6.4.4	Maatregelen	39
6.5	Bevindingen in case Breda	40
6.6	Reflectie voor de integrale risicoanalyse	40
7	SYNTHESE TOEPASSING VAN DE INTEGRALE RISICOANALYSE	42
7.1	Algemene bevindingen	42
7.2	Aanbevelingen	43
8	REFERENTIES	46
BIJLAGE A	CASE WOERDEN	48
BIJLAGE B	CASE RIJNLAND	62
BIJLAGE C	CASE OBJECT – DATACENTRUM	83
BIJLAGE D	CASE BREDA	90

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING

Het begrip risico heeft de volle aandacht van waterschappen en RWS binnen het Delta-programma Ruimtelijke Adaptatie. Door de 'Commissie Wateroverlast' is geconstateerd dat er behoefte is aan een consistente benadering van een integraal inzicht in de waterrisico's. In opdracht van de commissie wateroverlast wordt onderzoek gedaan naar de potentie van integrale risicoanalyse voor waterbezwaar.

Wateroverlast of overstrooming zijn termen die duiden op de gevolgen van een teveel aan water: van 'natte voeten' tot 'loss of life' (verlies van mensenlevens). Ertussen is nog een 'grijs gebied', waar het ene effect overgaat in het andere. In dit document willen we dit gehele spectrum vatten in het woord 'waterbezwaar'. De term 'waterbezwaar' benutten we voor een gebeurtenis die leidt tot wateroverlast in de stad (gedomineerd door veel neerslag in korte tijd), het watersysteem (gedomineerd door veel neerslag over een langere tijd in een groot gebied) en waterkeringen (dijkdoorbraken, gedomineerd door stormen en/of extreme neerslag in het stroomgebied).

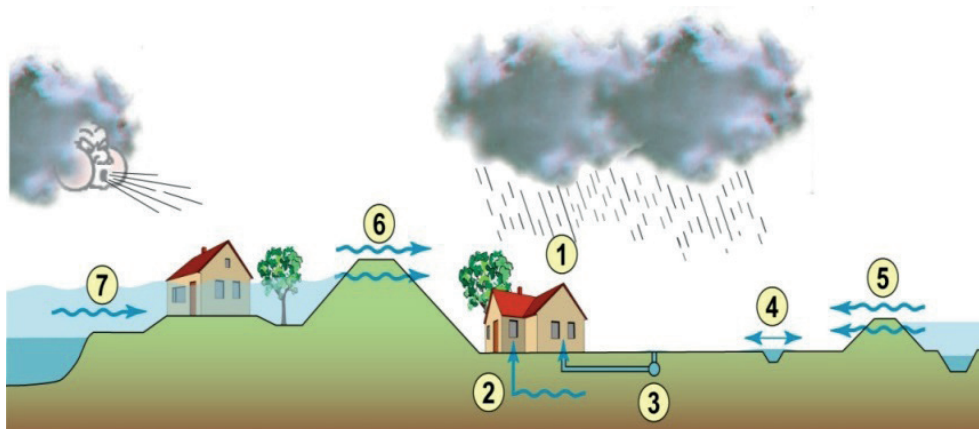
In april 2018 is een overzicht gemaakt van dilemma's en kennisvragen rondom de integrale risicoanalyse. In dit onderzoek kijken we door middel van een aantal cases naar de bijdrage van verschillende vormen waterbezwaar die door extreme (gebieds)neerslag worden veroorzaakt. We beperken ons tot vormen van waterbezwaar die gekoppeld zijn aan het functioneren van het watersysteem, zie Figuur 1. We kijken naar:

- Risicobijdrage van stedelijk gebied, bijvoorbeeld door kortdurende buien (3);
- Risicobijdrage door langdurige neerslag waardoor sloten buiten de oevers treden (4);
- Risicobijdrage door doorbraken van regionale en primaire keringen en hoogwater buitendijks (5, 6 en 7).

Overlast door hoge grondwaterstanden is niet meegenomen, want uit eerder wetenschappelijk onderzoek blijkt dat deze schade onafhankelijk is van extreme piekneerslag (Ten Veldhuis 2010). De impact lokaal (in termen van een waterstand of de schade), en de ruimtelijke schaal van deze gebeurtenissen is verschillend.

FIGUUR 1

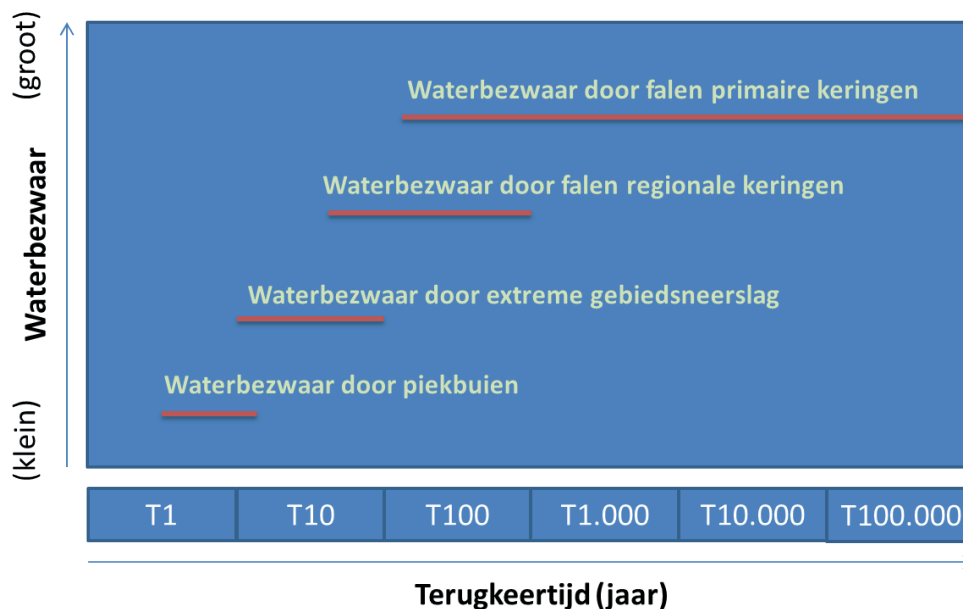
ONDSCHIED IN VERSCHILLENDE TYPEN WATERSCHADE. 1. WATER IN HUIS; 2. HOGE GRONDWATERSTANDEN; 3. OVERBELASTING RIOOL; 4. OVERSTROMING OPPERVLAKTE WATER; 5. BEZWIJKEN REGIONALE KERING; 6. BEZWIJKEN PRIMAIRE KERING; 7. BUITENDIJKSE GEBIEDEN.
(BRON PROJECT VAN NEERSLAG TOT SCHADE)



In de Figuur 2 schetsen we de verschillende elementen die van belang zijn voor de integrale risicoanalyse voor waterbezwaar, inclusief een indicatie van de terugkeertijd van het optreden van waterbezwaar. Vanuit de huidige praktijk worden deze watersystemen veelal apart benaderd en worden interacties (en afhankelijkheden) niet of sterk vereenvoudigd meegenomen. Als het watersysteem faalt, wil dat niet zeggen dat er direct schadelijke gevolgen zijn. De effecten zijn ook afhankelijk van het ontwerp, de berging van water in de openbare ruimte en de (crisis)beheermaatregelen. Het geheel van voorkómen van overlast, beperken van de gevolgen door ruimtelijke ingrepen en crisisbeheersing kan ook worden aangeduid met meerlaagsveiligheid. In de integrale risicoanalyse kijken we naar effecten van maatregelen in alle drie lagen.

FIGUUR 2

VERSCHILLENDE VORMEN VAN WATERBEZWAAR

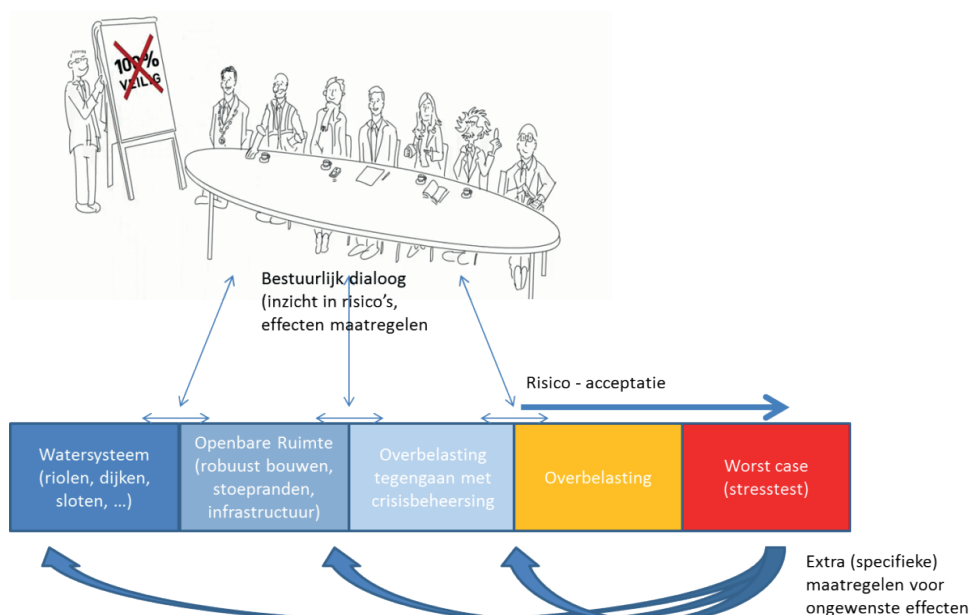


Het integrale risico is dus het totaal aan risico's (binnen het projectgebied), veroorzaakt door waterbezwaar vanuit het watersysteem, rekening houdend met de afhankelijkheden tussen de verschillende onderdelen van het watersysteem. Hierbij wordt expliciet gemaakt wat de risicobijdrage is aan het totale risico van de verschillende onderdelen van het watersysteem,

de ruimtelijke omgeving en de crisisbeheersing. Door middel van een kosten-batenanalyse kan het effect van maatregelen worden bepaald. De baten bestaan uit de reductie van het risico; de kosten bestaan uit de kosten van maatregelen. De kosten-batenanalyse is input voor besluitvorming, maar schrijft uiteraard niet de uitkomst voor. Afwegingen kunnen bijvoorbeeld worden gemaakt in een 'risicodialoog' waarbij afspraken gemaakt worden wie wat bijdraagt aan de reductie van het risico en welk risico geaccepteerd wordt (zie Figuur 3).

FIGUUR 3

BESTUURLIJKE AFWEGING OVER MAATREGELEN



Door de Commissie Wateroverlast is in 2018 geconcludeerd dat er geen technische belemmeringen zijn voor het kunnen uitvoeren van een integrale risicoanalyse. Dat er geen belemmeringen zijn, wil niet zeggen dat het eenvoudig is en dat de resultaten zo maar worden geaccepteerd en voor iedereen bruikbaar zijn. Op basis van beschikbare informatie, techniek, de beschikbare instrumenten en expert judgement bestaan er nu al voldoende handvatten om eerste integrale analyses uit te kunnen voeren. Aan de hand van cases onderzoeken we nu of deze ook van voldoende kwaliteit zijn voor het uitvoeren van de integrale risicoanalyse.

In dit onderzoek is een eerste versie van een raamwerk opgesteld voor integrale risicoanalyse, wat is toegepast in een aantal cases. Rondom de governance en de cultuur van de verschillende vakgebieden en een gezamenlijk (en geaccepteerd) raamwerk liggen grotere uitdagingen; aanbevelingen op dit vlak worden gedaan in het hoofdstuk van de synthese van de resultaten.

1.2 DOELSTELLING

Het doel van de werkzaamheden is:

- Het opstellen een generieke methode, een uniform raamwerk, voor het uitvoeren van een integrale risicoanalyse.
- Het uitvoeren van een viertal cases op basis van dit raamwerk. Deze cases hebben tot doel om ervaring op te doen met het toepassen van de integrale risicoanalyse op het gebied van benodigde informatie, modellen, governance en doelmatigheid.
- Het opstellen van een synthese en aanbevelingen op basis van de ervaringen in de uitwerking van de cases.

1.3 BEGRIPPENKADER

Geconstateerd is dat vanuit de verschillende werkvelden meerdere interpretaties bestaan van de betekenis van begrippen. Historisch gezien is dat logisch en begrijpelijk, maar het blijft daardoor voor de verschillende ‘werelden’ van waterbeheer en crisisbeheersing een uitdaging om elkaar daadwerkelijk te begrijpen. Hieronder zijn enkele begrippen beschreven die in deze studie gebruikt worden; een aanzet tot een uniform begrippenkader.

Integraal risico staat voor het product van de kans van optreden van waterbezwaar en de gevolgen. De kans van optreden volgt uit het functioneren van verschillende watersystemen (en de overlast die ontstaat bij overbelasting door extreme neerslag in stedelijke en de landelijke omgeving, doorbraken van primaire en regionale waterkeringen). De gevolgen worden bepaald door het ontwerp van de ruimtelijke omgeving en de crisisbeheersing. Ook de ruimtelijke omgeving en de crisisbeheersing kunnen dus bijdragen aan de reductie van risico. Het risico dat na deze ingrepen resteert is het ‘acceptabel risico’.

Onder het **watersysteem** verstaan we het waterhuishoudkundig stelsel van riolen, pompen, sloten en waterkeringen. Veel van deze systemen zijn ontworpen aan de hand van normen of maatregelen worden genomen om aan deze eisen te voldoen. Zo maakt een bergingsgebied onderdeel uit van het watersysteem maar kan ook een waterplein in de stad hier onderdeel van uitmaken, omdat met het dimensioneren van de watergangen rekening is gehouden met het functioneren hiervan.

Onder de **ruimtelijke omgeving** verstaan we de berging buiten het watersysteem, maar nog voordat er overlast ontstaat in kritieke functies als woningen, bedrijfspanden etc. Het gaat bijvoorbeeld hier om de berging van extreme neerslag op straat (tussen stoepranden) of om gebieden die wet- of dryproof zijn ingericht.

Onder **(crisis)beheersingsmaatregelen** (of noodmaatregelen) verstaan we de inzet van professionals in de crisisbeheersing, die tijdens (of direct voor) een gebeurtenis maatregelen nemen.

Waterbezwaar is de overkoepelende term voor wateroverlast door neerslag en door overstromingen. Het waterbezwaar kan worden uitgedrukt in:

- Overstromingsdiepte: de waterdiepte in het gebied als het watersysteem wordt overbelast.
- Overstromingsduur: de tijd dat een gebied onder water staat.

Onder het **effect** verstaan we zijn de optredende gevolgen door een waterstand. Deze kunnen worden uitgedrukt in schade, slachtoffers, maatschappelijke ontwrichting, effecten op gezondheid, milieu etc.

Onder het **acceptabel risico** verstaan we een normatieve waarde die, impliciet of expliciet, wordt geaccepteerd omdat maatregelen dan niet meer effectief zijn. Dit risico kan ook worden gebruikt als een normatieve waarde dat gebruikt kan worden als ontwerpcriterium voor een gebied. Deze normatieve waarde dienen als basis voor de uitwerking van eisen aan het voorkomen van waterbezwaar (en dus overbelasten van het watersysteem, de ruimtelijke omgeving en de crisisbeheersing) en de bijdragen van de ruimtelijke omgeving of crisisbeheersing. Momenteel wordt het risico impliciet geaccepteerd, waarbij er voor de verschillende watersystemen ontwerpcriteria of concepten zijn.

In theorie zijn er oneindig veel gebeurtenissen mogelijk die kunnen leiden tot waterbezwaar. Het gaat bijvoorbeeld om combinatie van extreme neerslag met het functioneren van gemalen in het watersysteem, de berging in de bodem en/of riool, verstoppingen, sterkte van waterkeringen en/of noodmaatregelen. In een risicoanalyse wordt gebruik gemaakt van verschillende discretisaties van deze parameters waarvan de effecten worden beschreven met een scenario. Een scenario is in dit geval een beschrijving van het verloop van de gebeurtenis, gegeven een set randvoorwaarden. Deze definitie van een scenario gaat dus over gebeurtenissen en heeft geen betrekking op scenario's die worden gedefinieerd in het kader van langjarige klimaatverandering en trends. Gezien de range van onzekerheden in de beschrijving van de set onderliggende randvoorwaarden of de gevolgen is het scenario veelal representatief voor een range aan mogelijke scenario's (een klasse). De kans op een dergelijk scenario (of deze klasse) kan worden bepaald op basis van de kans van voorkomen van de onderliggende randvoorwaarden. Een andere manier is het gebruiken van een (samengestelde) langjarige tijdreeks op basis waarvan statistische relaties kunnen worden bepaald.

De **kosten** bestaan uit de kosten voor het nemen en onderhouden van maatregelen. De **baten** bestaan uit de reductie van het risico ten opzichte van de referentiesituatie. De baten kunnen ook negatief zijn door neveneffecten van deze maatregelen.

Om de schade over een zekere tijdshorizon te kunnen vergelijken met de kosten van investeringen wordt de schade uitgedrukt in een contante waarde. Bij de bepaling van de contante waarde is naast de jaarlijks verwachte schade een discontovoet en een tijdshorizon noodzakelijk (default in deze studie is een discontovoet van 4% en een tijdshorizon van 50 jaar). Als er ook jaarlijkse kosten zijn is het nodig om ook deze kosten contant te maken voor een goede vergelijking.

De **totale kosten** bestaan uit de contante waarde van de investeringen en de contante waarde van het risico. Doelmatigheid is de verhouding tussen kosten en baten. In dit onderzoek zoeken we naar het optimum, waarbij de totale kosten minimaal zijn.

Een **model** is een beschrijving van de werkelijkheid. In ieder model zijn vereenvoudigingen toegepast om de werkelijkheid te kunnen beschrijven. Met behulp van een model kan een schematisatie worden gemaakt waarbij de gewenste processen kunnen worden beschreven of waarmee analyses kunnen worden opgesteld over het mogelijk functioneren. Er bestaan diverse modellen. Met waterhuishoudkundige modellen wordt het verloop van de waterstand beschreven en hoe het water zich verspreidt. Door de STOWA is al aandacht besteed aan een benchmark voor inundatiemodellen. Met schademodelen kunnen schattingen worden opgesteld voor de schade en de slachtoffers, met evacuatiemodellen voor de hoeveelheid mensen die naar veilig gebied kunnen komen. Zo bestaan er ook modellen voor het bepalen van de indirecte schade, ecologie etc.

Door middel van een schematisatie (op basis van gebiedskenmerken) kan een model gebruikt worden om scenario's op te stellen. We maken onderscheid tussen de volgende typen modellen:

- Een model op basis van basisgegevens. Hierbij worden verschillende basisbestanden gebruikt om processen zo goed mogelijk te simuleren in een gebied (legger of actuele situatie).
- Een gekalibreerd model. Hierbij zijn de modelprestaties van het model vergeleken met

metingen van historische gebeurtenissen. Op basis van deze vergelijkingen zijn modelinstellingen of schematisaties bijgesteld waardoor deze gebeurtenissen beter kunnen worden beschreven.

- Een gevalideerd model. Hierbij zijn de resultaten van een model voor een historische gebeurtenis vergeleken met de metingen van deze gebeurtenis zonder dat modelinstellingen zijn aangepast. Deze validatie geeft een beeld van de betrouwbaarheid van het model omdat gekeken wordt naar gebeurtenissen waarop het model niet is afgeregeld.

Het uitvoeren van een kalibratie en een validatie vereist metingen. Daarnaast kan een plausibiliteitstoets met experts worden benut om na te gaan of het presteren van modellen in een extremer bereik nog betrouwbaar is. Voor de uitwerking van de cases zijn we uitgegaan van beschikbare data en modellen, verondersteld is dat bovenstaande stappen reeds zijn uitgevoerd.

1.4 BEGELEIDING VAN HET ONDERZOEK

Het onderzoek is begeleid door een begeleidingscommissie van de STOWA onder leiding van Robin Biemans. Deze begeleidingscommissie is 4 maal bijeen gekomen. In deze commissie hadden zitting: Nick van Barneveld, Rob de Dulk (beiden tot januari 2019), Ton Beenen, Kees Peerdeman, René Piek, Jorg Pieneman, Durk Riedstra en Angela Vlaar.

De cases zijn begeleid door de betrokken stakeholders:

- Case Woerden door Epke van der Werf (HDSR) en Wilco Bodegraven (gemeente Woerden);
- Case Rijnland door Erwin de Groot, Jan Jelle Reitsma en Dolf Kern (Rijnland);
- Case Bavel door Kees Peerdeman (WSBD) en Lennard Stigter (gemeente Breda);
- De case object is fictief uitgevoerd.

1.5 SELECTIE VAN TYPEN CASES

De cases zijn in overleg met de begeleidingscommissie geselecteerd. Er is gekeken naar een spreiding over Nederland, verscheidenheid aan aspecten van de integrale risicoanalyse en de betrokkenheid van verschillende stakeholders. Gekozen is voor de volgende cases:

- Woerden: Vanwege de interactie van het stedelijke watersysteem en het polder-boezemsysteem van de Oude Rijn.
- Rijnland: Naar de mogelijke inzet van compartimenteringswerken op de boezem om in geval van een kadebreuk de impact te verkleinen.
- Object: voor een fictief nieuw waardevol object in een gebied is gekeken wat de impact is in termen van integrale risico's.
- Breda: Voor de interactie tussen stedelijk gebied en een beek in een licht hellend watersysteem.

Aan de uitvoering van deze cases ligt het uniform raamwerk (zie hoofdstuk 2) ten grondslag, dat naar aanleiding van deze cases ook is verbeterd.

1.6 LEESWIJZER

In dit eerste hoofdstuk is de context van deze rapportage weergegeven. We beschreven de aanleiding en de doelstelling en manier waarop het onderzoek is opgezet en uitgevoerd. In hoofdstuk 2 is het uniform raamwerk opgenomen voor de integrale risicoanalyse. Dit raam-

werk biedt een handvat voor uitvoering van de analyse, het geeft richting aan de verschillende stappen maar vult deze voor de betrokken stakeholders niet in. In hoofdstuk 3 tot en met 6 zijn de verschillende cases besproken. Een meer uitgebreide beschrijving en details van de cases staan in de bijlagen. In hoofdstuk 7 is de synthese opgenomen, leidend tot een aantal conclusies en aanbevelingen.

2

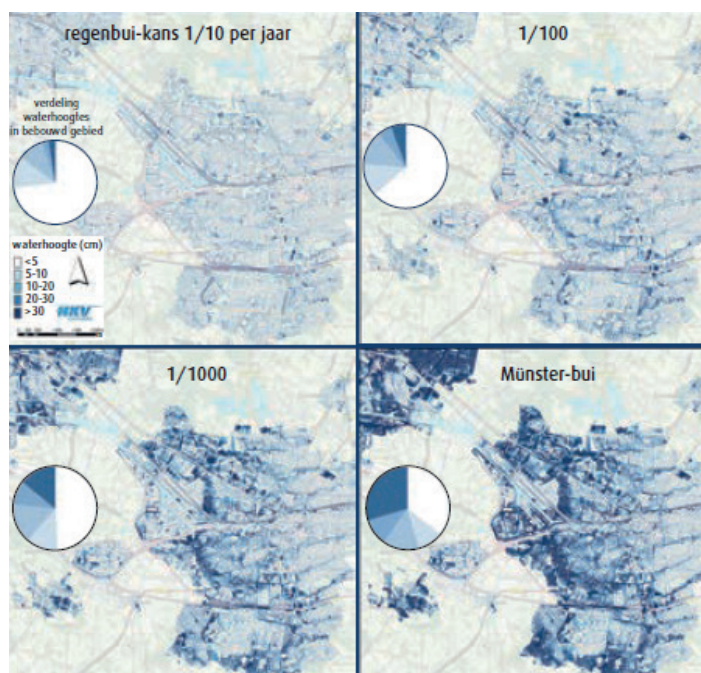
UNIFORM RAAMWERK INTEGRALE RISICOANALYSE

2.1 RISICOANALYSE OP HOOFDLIJNEN

In deze risicoanalyse wordt het risico uitgedrukt als kans x gevolg. Hierbij wordt rekening gehouden met allerlei gebeurtenissen. In theorie zijn er oneindig veel verschillende gebeurtenissen gegeven de belasting, de status van het watersysteem (en de ruimtelijke omgeving en crisisbeheersing) en de correlaties tussen de watersystemen. In een risicoanalyse wordt dan ook vaak gewerkt met klassen waardoor er vereenvoudigingen worden aangebracht. Per klasse kan de kans van voorkomen worden bepaald, evenals het gevolg door middel van de beschrijving van een scenario. De hoeveelheid klassen is uiteraard afhankelijk van het beslisprobleem dat voorligt. In essentie is het wenselijk een zo eenvoudig mogelijk model te gebruiken passend op het voorliggende vraagstuk.

Een gebeurtenis (of een scenario) is gedefinieerd als het verloop van de gebeurtenissen gegeven de status van het watersysteem (inclusief de ruimtelijke omgeving en crisisbeheersing) en de belasting op dit watersysteem. Vanwege de onzekerheid in de status van het watersysteem of de belasting kan het zinvol zijn om rekening te houden met meerdere gebeurtenissen. Zo zijn in Figuur 4 e effecten in kaart gebracht bij verschillende belastingen voor de regio Enschede – Hengelo (De ingenieur, 2018).

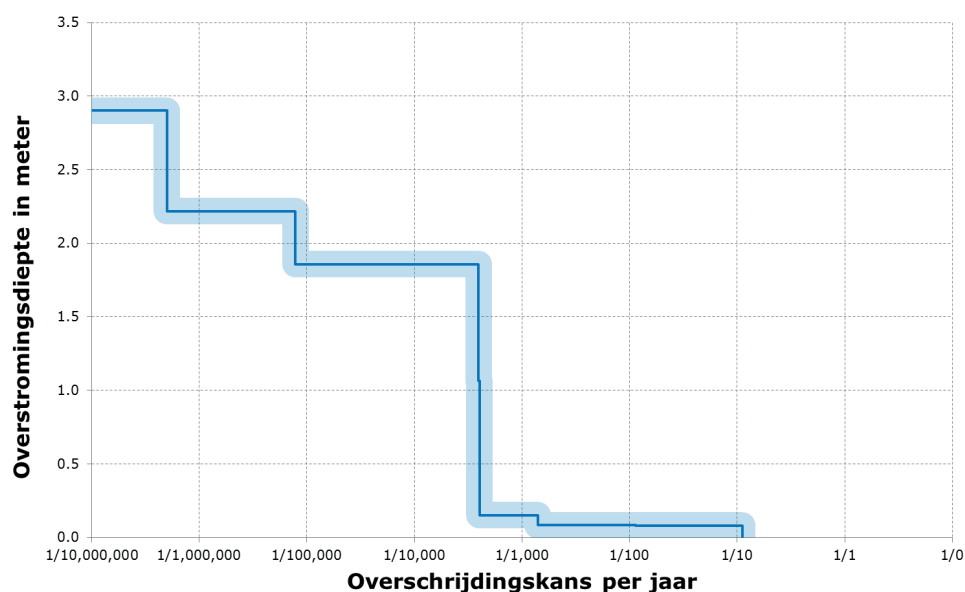
FIGUUR 4 EFFECTEN WATEROVERLAST BIJ TERUGKEERTIJDEN VAN EEN NEERSLAGVOLUME



Als vanuit één locatie (bijvoorbeeld een woning of een energiehuis) wordt geredeneerd, kan ook de lokale overschrijdingsfrequentie van de waterstand worden opgesteld rekening houdend met doorbraken van waterkeringen en extreme neerslag. In Figuur 5 is een voorbeeld opgenomen voor een locatie in Dordrecht. Duidelijk is te zien dat er verschillende gebeurtenissen met een specifiek impactniveau mogelijk zijn en dat er dus een keuze is op welke situaties men zich wil voorbereiden of waarop men zich wil inrichten. Men kan zich richten op het voorkomen van de maximale impact (3 meter waterdiepte) maar ook keuzes maken voor bijvoorbeeld bescherming tot gebeurtenissen die leiden tot 2 m waterdiepte of gebeurtenissen die vaker voorkomen dan 1/1.000 per jaar. De methodiek laat zien dat door deze keuzes er dus ook een risico wordt geaccepteerd.

FIGUUR 5

VOORBEELD OVERSTROMINGSKANSPROFIEL VOOR EEN LOCATIE IN DORDRECHT



Bron: www.mijnoverstromingsrisicoprofiel.nl

In het vervolg van dit hoofdstuk gaan we in op de elementen van de integrale risicoanalyse. We maken onderscheid in:

- Belastingen en randvoorwaarden: de (natuur)verschijnselen waar aan het gebied wordt blootgesteld en de begintoestand die kan worden beïnvloed door het beheer.
- Correlaties: deze beschrijven de interacties tussen de watersystemen.
- Waterbezwaar: het waterbezwaar is het effect van de overbelasting uitgedrukt in een waterdiepte.
- Effecten: op basis van de waterdiepte kan het effect worden bepaald.
- Risico's en kosten: De effecten uitgedrukt in een verwachtingswaarde per jaar.

Het gaat bij deze integrale risicoanalyse dus zowel om kansen, gevolgen als gebeurtenissen. Op basis van de belastingen en randvoorwaarden en correlaties kunnen gebeurtenissen worden gedefinieerd. Deze gebeurtenissen hebben een kans en een gevolg (waterbezwaar, effect). De combinatie van deze gebeurtenissen leidt tot het risico.

2.1.1 BELASTINGEN EN RANDVOORWAARDEN

De belastingen betreffen de (natuur)verschijnselen waarin het gebied wordt blootgesteld. Het kan gaan om:

- Neerslagvolume en neerslagpatroon. In opdracht van de STOWA zijn hiervoor neerslagsta-

tistieken voor langdurige buien (STOWA 2016) en kortdurende buien opgesteld (STOWA 2018).

- De windrichting en windsnelheid.
- De waterstand op de rivier of zee inclusief golven. Voor de primaire waterkeringen zijn in het WBI2017 condities opgesteld (inclusief wind en golven).
- Voor regionale waterkeringen zijn ook belastingen (waterstanden) opgesteld op basis van neerslagstatistieken en de werking van de boezemsystemen. Deze zijn vastgesteld door de provincies op basis waarvan de regionale waterkeringen worden beoordeeld.

De randvoorwaarden schetsen de beginsituatie en inzet van het watersysteem, de openbare omgeving en de crisisbeheersing in geval van een gebeurtenis. De randvoorwaarden kunnen betrekking hebben op:

- De capaciteit van het watersysteem (rioolcapaciteit, gemalen etc.), de ruimtelijke omgeving (de beschikbare berging op straat voordat huizen overstroomd) en crisisbeheersing (beschikbare middelen, planvorming).
- De beschikbare berging in de bodem, oppervlaktewater, riool, bassins etc. (en heeft hiermee een relatie met de voorgeschiedenis).
- Het beheer en onderhoud. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen het effect van regulier onderhoud en beheermaatregelen (evt. als onderdeel van crisisbeheersing):
 - Regulier onderhoud uit zich in het maaibeeld, beschikbaarheid van kunstwerken etc. en heeft zo effect op de afvoercapaciteit en bergingsmogelijkheden.
 - Beheermaatregelen zijn ten tijde van een gebeurtenis onderdeel van de crisisbeheersing en hebben betrekking op maatregelen die tijdens een dergelijke gebeurtenis worden genomen, denk aan het sluiten van coupures, maalstops, bergpolders, inzet van noodpompen etc.

Bovenstaande randvoorwaarden kunnen in verschillende condities voorkomen. Zo is het denkbaar dat er veel of weinig berging in de bodem is, of dat er onderhoud gaande is of dat er door de seizoenen flinke gewasgroei is.

2.1.2 CORRELATIES

Tussen deze watersystemen zijn interacties. Deze interacties hebben invloed op de uiteindelijke waterstand tijdens een gebeurtenis, zoals extreme neerslag of een hoogwater. In de volgende paragrafen zijn voorbeelden van interacties tussen deze watersystemen opgenomen.

OVERSTORTEN EN BERGING IN WATERGANGEN

Bij hevige neerslag zal de riolering overstorten op de watergang. Overstort is mogelijk als de 'oppervlaktewaterstand' in watergangen niet te hoog is. Indien overstorten niet (geheel) vrij zijn, neemt de afvoercapaciteit van de riolering af waardoor de uitstroom van water afneemt en uiteindelijk zelf kan stagneren. Het water zal dus op straat blijven staan en mogelijk oppervlakkig afstromen. Indien deze situatie te extreem wordt kan er schade optreden, bijvoorbeeld omdat water gebouwen instroomt.

De beschikbaarheid van overstorten wordt bepaald door de correlatie van piekneerslag en hoge waterstanden in watergangen door langdurige neerslag. Deze correlatie kan worden afgeleid uit:

- De beschikbare metingen van waterstanden op overstortlocaties, overlopen van riolering en de (gewenste) inzet hiervan;

- Analyse van neerslagstatistieken waarbij gekeken wordt naar de correlatie tussen piek-neerslag en langdurige gebiedsneerslag, die kan leiden tot hoge waterstanden in watergangen nabij overstortlocaties.

MAALSTOPS

Een maalstop kan worden ingezet om de belasting op ontvangende wateren als boezems en kanalen te verminderen (bijvoorbeeld om de faalkans van keringen te verlagen). Het water dat niet kan worden afgevoerd zal in de betreffende polder worden geborgen. Het water blijft in watergangen staan waarbij inundaties mogelijk zijn, die kunnen leiden tot schade. Deze hogere waterstanden in watergangen hebben ook weer invloed op afstroming van percelen. Zo kan er ook extra landbouwschade ontstaan, waarbij overigens telkens wel de vraag is wat de 'extra' schade is door de maalstop. Immers waarschijnlijk stonden de grondwaterstanden al hoog en was er al sprake van opbrengstdepressie.

GEMALEN

Gemalen zijn een onderdeel van het watersysteem. De daadwerkelijke capaciteit van de gemalen op een gewenst moment van inzet is afhankelijk van beheer en onderhoud en bijvoorbeeld de opvoerhoogte. Zo kan het zijn dat één van de pompen in onderhoud is of dat de capaciteit terugloopt bij grote opvoerhoogtes. Door inzet van noodbemaling kan de pomp-capaciteit tijdelijk worden vergroot.

De capaciteit van gemalen is er veelal op ingericht om onder normale beheeromstandigheden het waterpeil te beheersen. Echter in geval van een overstroming kunnen deze gemalen ook worden ingezet om een gebied weer watervrij te maken, mits het gemaal nog functioneert.

SPUIEN

Bij een spuicomplex wordt water onder vrij verval geloosd. Door hoge buitenwaterstanden, door eb en vloed maar ook door storm, kan het zijn dat afvoer niet mogelijk is. Dat was bijvoorbeeld het geval tijdens het hoogwater van 5 en 6 januari 2012 dat leidde tot de beslissing tot evacuatie van Woltersum in Groningen.

2.1.3 WATERBEZWAAR

Het waterbezwaar is de hoeveelheid water die op het land staat, gegeven de belasting, randvoorwaarden en correlaties. Het waterbezwaar kan bepaald worden met hydrologische modellen waarmee scenario's kunnen worden doorgerekend. De scenario's kunnen worden samengesteld op basis van de belastingen, de randvoorwaarden en de correlaties. Deze hoeveelheid water, vaak uitgedrukt in centimeters, kan vervolgens allerlei effecten opleveren. Er kan gewerkt worden met verschillende losse scenario's die ieder een kans hebben gegeven de samenstelling van het scenario. Het is ook denkbaar lange reeksen door te rekenen en hier statistiek op te bedrijven.

Opgemerkt wordt dat de 1/100 pj waterstand in een gebied wordt bepaald door de combinatie van belastingen, randvoorwaarden en correlaties. Het is dus niet zo dat de 1/100 pj neerslag altijd zal leiden tot de 1/100 pj waterstand. Bijvoorbeeld in combinatie met een zeldzaam natte bodem zal hetzelfde neerslagvolume leiden tot een veel extreme waterstand. Evenzo kan een kleinere hoeveelheid neerslag in combinatie met veel gewasgroei leiden tot de 1/100 pj waterstand.

2.1.4 EFFECTEN

De effecten op basis van het waterbezwaar kunnen worden uitgedrukt in diverse parameters. Voorbeelden zijn de schade, de duur van het optreden, maatschappelijke impact (bijvoorbeeld uitgedrukt in uitval van gebruiksdagen) etc. De effecten worden bepaald op basis van het waterbezwaar horende bij het scenario. Hiervoor kunnen bijvoorbeeld schademodelen worden gebruikt. De schadefuncties van HIS-SSM zijn vooral geschikt voor grotere waterdieptes; de Waterschadeschatter richt zich op kleinere waterdieptes.

2.1.5 RISICO'S EN KOSTEN

De risico's worden bepaald door kans en gevolg te combineren. Zo wordt het schaderisico uitgedrukt in de verwachte hoeveelheid 's per jaar.

Voor een kosten-batenanalyse (KBA) worden de risicokosten vertaald naar de waarde in het zichtjaar van de KBA. De daling van de risicokosten door een maatregel zijn de baten. De kosten bestaan uit de investeringskosten van maatregelen. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden in eenmalige investeringen en jaarlijkse investeringen, deze laatste moeten ook contant worden gemaakt.

2.2 STAPPENPLAN INTEGRALE RISICOANALYSE

De integrale risicoanalyse is volgens deze stappen uitgevoerd:

Stap 1: Opstellen van een systeembeschrijving en selectie stakeholders.

Stap 2: Uitwerking van de risico's in het projectgebied:

- A. Uitwerking correlaties tussen watersystemen;
- B. Selectie van modellen;
- C. Bepalen belastingen en randvoorwaarden;
- D. Rekenmethodiek;
- E. Uitvoeren risicoanalyse.

Stap 3: Vaststellen knelpunt(en) en opgave.

Stap 4: Uitwerking risico's voor situaties met maatregelen.

Stap 5: Besluitvorming (valt buiten scope uniform raamwerk).

2.2.1 STAP 1: OPSTELLEN SYSTEEMBESCHRIJVING EN SELECTIE STAKEHOLDERS

Stap 1A: systeembeschrijving

Het doel van deze stap is het opstellen van een beschrijving van het systeem. In deze stap wordt het projectgebied gedefinieerd en beschreven. De keuze van het projectgebied wordt bepaald door de omvang waar mogelijke ingrepen effect hebben op de risico's. Bij de systeembeschrijving maken we onderscheid in:

- Het stedelijk watersysteem inclusief de riolering;
- Het regionaal watersysteem;
- De regionale keringen;
- De primaire keringen;
- De mate waarin de ruimtelijke omgeving wordt ingezet om waterbezwaar te voorkomen;
- De mate waarin crisisbeheersing wordt ingezet om waterbezwaar te voorkomen.

De systeembeschrijving resulteert voor een zichtjaar (de referentiesituatie) in een globaal overzicht over:

- De capaciteiten van watersystemen (incl. sterkte waterkeringen), ruimtelijke omgeving en crisisbeheersing.
- De interacties tussen deze watersystemen.

De referentiesituatie heeft betrekking op de keuze voor de actuele of de genormeerde status van het watersysteem. Ook wordt het zichtjaar gekozen (bijvoorbeeld het huidige jaar, 2030 of 2050).

Stap 1B: stakeholders

Op basis van de systeembeschrijving worden de stakeholders benoemd. Deze worden als volgt geselecteerd:

- In eerste instantie de waterbeheerders, gemeenten, provincies en veiligheidsregio's die worden blootgesteld aan het risico.
- De partijen die betrokken zijn bij mogelijke maatregelen of te maken krijgen met de gevolgen van deze maatregelen.
- Eventueel andere stakeholders als bewoners, nutsvoorzieningen, bedrijven, maatschappelijke organisaties, belangenverenigingen etc.

2.2.2 STAP 2: UITWERKING RISICO'S VOOR REFERENTIESITUATIE

De risico's voor de referentiesituatie worden bepaald met (samenhangende) modellen die aantoonbaar de werkelijkheid kunnen beschrijven. Ieder model is een schematisatie (en vereenvoudiging) van de werkelijkheid. Onder aantoonbaar wordt verstaan dat deze modellen (en dus de schematisatie) geschikt worden bevonden om historische gebeurtenissen met voldoende kwaliteit te kunnen reproduceren (kalibratie / validatie) en ook in staat worden geacht om meer extreme scenario's te kunnen beschrijven (een plausibiliteitstoets). Hiervoor worden de onderstaande stappen doorlopen:

- A. Uitwerking correlaties tussen watersystemen;
- B. Selectie van modellen;
- C. Bepalen belastingen en randvoorwaarden;
- D. Rekenmethodiek;
- E. Risicoanalyse.

Stap 2A: Uitwerking correlaties tussen watersystemen

Het doel van deze stap is het kwantitatief uitwerken van de interacties tussen de watersystemen. Het resultaat hiervan is een statistische beschrijving inclusief de schematisatie van de afhankelijkheden tussen deze watersystemen.

Een voorbeeld van een dergelijke correlatie is de interactie tussen de rioleringen en het oppervlaktewater via overstorten. Overstorten zullen worden ingezet bij piekbuien, waarbij het niet de verwachting is dat het oppervlaktewater verhoogde waterstanden heeft. De overstort is dus niet geblokkeerd / gestremd. Echter de combinatie van hoge waterstanden in watergangen (door langdurige neerslag) en de gewenste inzet van een overstort (door een piekbui) is ook mogelijk. De vraag is wat de kans hierop is. Voor de bepaling van het risico wordt dan onderscheid gemaakt in twee gebeurtenissen (uitgaande van dezelfde set aan belastingen en overige randvoorwaarden):

- Ongelimiteerde inzet overstort, met een bepaalde kans van voorkomen (deze kans noemen we P1).
- Gestremde inzet van een overstort door hoge oppervlaktewaterstanden, met een kans van voorkomen (P2).

Op basis van deze gebeurtenissen kan het risico worden bepaald door de gevolgen in kaart te brengen en te kwantificeren. Indien de kansen P1 en P2 afhankelijk zijn van de set aan randvoorwaarden en belastingen kan hier nog een verdere variatie in worden aangebracht door het meenemen van een kansverdeling.

Een tweede voorbeeld gaat over de effectiviteit van beheer- en noodmaatregelen (onder crisisbeheersing) in geval van een doorbraak van regionale keringen. Het is de vraag hoe snel een boezem is gecompartmenteerd om de hoeveelheid water, die een polder in stroomt, te verkleinen. Als (zoals bij normeringstudies veelal gedaan) wordt aangenomen dat hier geen rekening mee wordt gehouden zal de gehele boezem leeg stromen en zal er veel schade optreden. Als hier wel rekening mee wordt gehouden (wat dus eisen stelt aan de crisisbeheersing) zijn er twee mogelijkheden:

- Met een deterministische aanpak kan er voor worden gekozen om een bepaalde periode hiervoor aan te nemen.
- Met een probabilistische aanpak kan een kansverdeling worden opgenomen door bijvoorbeeld onderscheid te maken in verschillende vormen van compartimentering en verschillende tijdsperiodes waarin dit is gerealiseerd.

Stap 2B: Selectie van modellen

Tijdens deze stap wordt het te gebruiken modelinstrumentarium in kaart gebracht. Bij de bepaling van het risico kunnen verschillende modellen worden gecombineerd. Voor het beschrijven van de waterhuishoudkundige modellen zijn diverse modellen geschikt¹ die vaak door een beheerder al worden gebruikt. Voor toepassing zijn er twee eisen waarin voldaan moet worden:

1. Kunnen de modellen historische extreme gebeurtenissen beschrijven (kalibratie / validatie)?
2. Zijn de modellen geschikt voor het uitwerken van extremere scenario's dan zijn opgetreden (plausibiliteitstoets).

In deze modellen is de ruimtelijke omgeving ook al geschematiseerd via de maaiveldhoogtes en het grondgebruik. Voor doorbraken van primaire en regionale waterkeringen is een standaardset aan scenario's (en kansen) beschikbaar op www.basisinformatie-overstromingen.nl (LIWO).

Op basis van de waterhuishoudkundige effecten kan de hoeveelheid schade (en eventueel het aantal slachtoffers) worden bepaald. Voor grotere waterdieptes (en waterkeringen) is HIS-SSM de standaard, voor extreme neerslag de Waterschadeschatter.

Gegeven de scope van het beslisprobleem en te beschouwen frequenties kan blijken of watersystemen buiten beschouwing moeten worden gelaten. Bij de bepaling van de risico's en kosten worden de uitkomsten van deze modellen, rekening houdend met de correlaties van stap 2B gecombineerd.

Stap 2C: Bepalen belastingen en randvoorwaarden

Op basis van de scope van het beslisprobleem wordt bepaald welke belastingen en randvoorwaarden noodzakelijk zijn en wat de bijbehorende kansen zijn. Het gaat om:

1. Neerslagbelastingen conform STOWA statistiek voor kortdurende buien (2017) en langdurige buien (2015). Hierbij kan onderscheid worden gemaakt in verschillende buien (in klassen):
 - a. De duur van een gebeurtenis;
 - b. Volume van de gebeurtenis (eventueel met nog onderscheid in het patroon);
 - c. Vertaling van puntneerslag naar gebiedsneerslag.
2. Waterstandstatistieken bij primaire en regionale waterkeringen (waarbij nog teruggegaan kan worden naar de onderliggende gebeurtenissen).

1 <https://www.stowa.nl/publicaties/benchmark-inundatiemodellen-modelfunctionaliteiten-en-testbank-berekeningen>

3. De beginsituatie, zoals de beschikbare bergingscapaciteit in de bodem en riolering, peil-regime etc. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen verschillende situaties.
4. De afvoermogelijkheden als gevolg van stremmingen, beheer en onderhoud, hoge buitenwaterstanden etc.
5. De ingrepen van beheer- en noodmaatregelen. Er kan onderscheid worden gemaakt in de timing en de manier van uitvoeren.

Voor regionale (en primaire) keringen wordt de term belastingen gekoppeld aan waterstanden die kunnen optreden. Deze waterstanden zijn echter het gevolg van neerslagbelastingen (in combinatie met andere factoren).

Voor doorbraken van primaire waterkeringen kan (uitzonderingen daargelaten) worden verondersteld dat de faalkans van waterkeringen niet gecorreleerd is aan het regionale water(kering)systeem. Hierdoor kunnen de belastingcombinaties en faalkansen van waterkeringen worden gebruikt voor de bepaling van het risico.

Voor regionale waterkeringen wordt de kans op waterbezwaar wel bepaald door de interactie met het landelijke watersysteem en mogelijk de waterstand op de grote rivieren en meren. Er zal dan een afweging worden gemaakt of het mogelijk is te werken met al bestaande belastingcombinaties (uitgedrukt in terugkeertijden van waterstanden) of dat aanvullende analyses met de neerslagstatistieken wenselijk zijn.

Stap 2D: Rekenmethodiek

De rekenmethodiek beschrijft hoe de risico's worden bepaald. Er zijn grofweg twee opties:

- Doorrekenen van een lange tijdreeks. Deze tijdreeks zal voldoende lang en gedetailleerd moeten zijn, zodanig dat de verschillende gebeurtenissen en vormen van waterbezwaar worden beschreven. Zo wordt bijvoorbeeld voor primaire keringen gebruik gemaakt van GRADE. Hierbij wordt een periode van 50.000 jaar doorgerekend aan neerslag (op dagbasis). Er bestaan ook 100- en 800-jarige reeksen op basis van de Bilt.
- Doorrekenen van losse gebeurtenissen, waarbij aan iedere gebeurtenis een kans wordt toegekend, die hierna wordt gecombineerd (stochastenmethode of een probabilistische aanpak). Voor het bepalen van de HBN's (Hydraulische Belasting Niveaus) op de grote rivieren in het WBI2017 is hier gebruik van gemaakt en ook voor sommige regionale watersystemen zijn dergelijke analyses uitgevoerd.

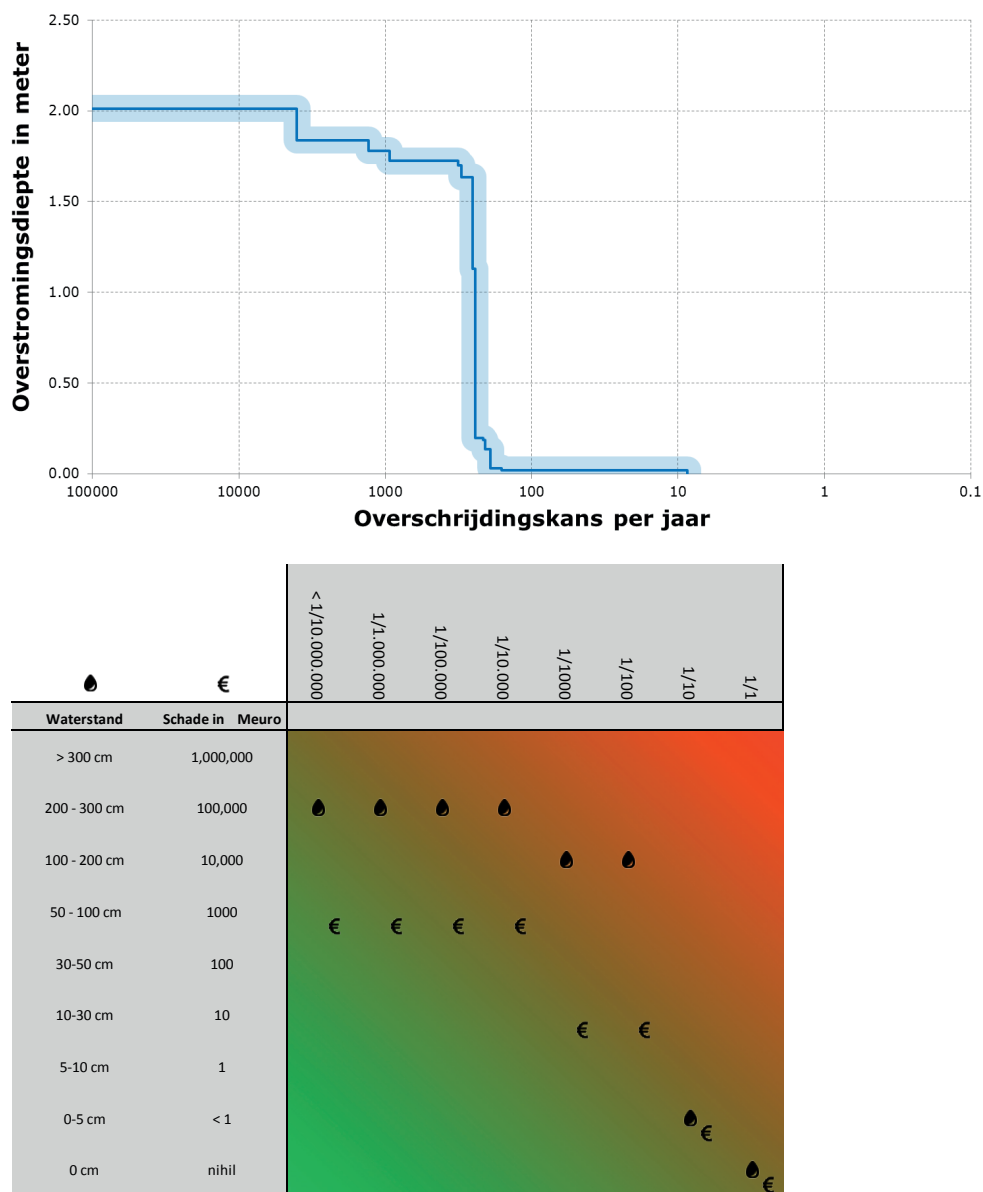
Stap 2E: Risicoanalyse

Tijdens deze activiteit wordt in kaart gebracht wat het waterbezwaar, het effect en het risico is. Op basis van de hydrologische- en schademodellen en de scenario's met bijbehorende kansen kan de risicoanalyse worden uitgevoerd. Het totale risico wordt bepaald door de combinatie van de bijdragen van de verschillende watersystemen. Hierbij kan de bijdrage van deze watersystemen ook expliciet worden gemaakt evenals hoe het risico verdeeld is over de omgeving.

Indien gewenst kan ook voor een object of kleinere zone inzichtelijk worden gemaakt hoe het risico is opgebouwd. In Figuur 6 is een voorbeeld opgenomen van een overstromingsrisicoprofiel, dat de kans op blootstelling aan water van het gebouw beschrijft. Ook kan voor dit object de impact worden bepaald voor verschillende gebeurtenissen. Deze methodiek is ontwikkeld door de City Deal (2017) en stelt het object en de ruimtelijke invalshoek centraal. Op basis van de impact kan bepaald worden wat wel of niet acceptabel is voor het object en of er bij het object door de eigenaar of ontwikkelaar maatregelen noodzakelijk zijn. In deze

figuur zijn schadebedragen per gebeurtenis opgenomen, het risico in euro's per jaar volgt uit het combineren van de kans en het gevolg. Een tweede stap is dat de eigenaar of ontwikkelaar in gesprek gaat met andere actoren, waarna een link kan ontstaan met de integrale risicoanalyse, omdat maatregelen elders (van in dit geval het object) worden genomen.

FIGUUR 6 VOORBEELD VAN BLOOTSTELLING AAN EEN OBJECT (BOVEN) EN TOEPASSING METHODEIK CITY DEAL VOOR RISICOBEPALING (ONDER)



2.2.3 STAP 3: VASTSTELLEN KNELPUNT(EN) EN OPGAVE

Het doel van deze stap is het benoemen van de opgave en het inkaderen van de risicoanalyse. Op basis van de effecten, de totale risico's en de bijdrage van de verschillende watersystemen kan worden bepaald of er knelpunten zijn. Als helder is wanneer het knelpunt is opgelost kan ook de 'opgave' worden bepaald; deze is immers het te overbruggen verschil om de knelpunten weg te nemen. Onderdeel van deze stap is ook het benoemen van de risicoparameters. Hierbij wordt expliciet gemaakt:

- waarom iets als een knelpunt wordt ervaren?
- wie dit als een knelpunt ervaren?
- waaraan voldaan moet worden om het knelpunt op te lossen (de opgave)?

De opgave wordt niet uitgedrukt in de te nemen maatregel maar in het te behalen resultaat.

Als onderdeel van deze stap worden ook de te betrekken stakeholders in kaart gebracht. Het gaat om de waterbeheerders, ruimtelijke partijen en veiligheidsregio's die te maken hebben met het knelpunt of de realisatie van de opgave.

Op basis van deze stap wordt de scope van de risicoanalyse opgesteld. Relevante vragen zijn dan:

- Wat zijn de relevante terugkeertijden (inclusief interacties) om te bekijken? Op basis van de beschrijving van het knelpunt / beslisprobleem wordt bepaald welke range aan voorkomen van waterbezwaar meegenomen wordt in de integrale risicoanalyse.
- Wat zijn de relevante stakeholders om te betrekken bij de integrale risicoanalyse? Het gaat om:
 - De watersystemen (stedelijk water, regionaal water, regionale en primaire keringen);
 - De ruimtelijke omgeving;
 - Crisisbeheersing;
 - Burgers en bedrijven (risico-acceptatie).

2.2.4 STAP 4: UITWERKING RISICO'S VOOR SITUATIES MET MAATREGELLEN

Tijdens deze stap worden de risico's in kaart gebracht voor verschillende situaties die wordt vergeleken met de referentie. Per pakket aan maatregelen wordt ook een korte beschrijving (en eventueel een visualisatie) opgesteld wat onder dit pakket aan maatregelen wordt verstaan.

De referentiesituatie is de situatie waarmee de effecten van maatregelen worden vergeleken. De referentie kan gaan over de actuele situatie, maar bijvoorbeeld ook over 2050. De keuze hiervoor volgt uit het beslisprobleem. De totale kosten bestaan uit de contante waarde van het risico, immers er zijn geen maatregelen voorzien.

De situaties met maatregelen zijn varianten op de referentiesituatie. Het is mogelijk om verschillende varianten op te stellen als verschillende maatregelenpakketten. De totale kosten bestaan uit de contante waarde van het risico en de kosten van maatregelen. De baten bestaan uit de reductie van de contante waarde van het risico.

In Figuur 7 is een overzicht opgenomen van een afwegingskader dat kan worden gebruikt om vanuit het perspectief van de integrale risicoanalyse verschillende maatregelen met elkaar te vergelijken. Naast deze situaties kan ook een '0 – situatie' worden toegevoegd waarin de risico's en kosten zijn opgenomen op basis van een sectorale benadering (dus per vorm van waterbezwaar apart beschouwd). Hierbij merken we op dat het inzichtelijk maken van deze verschillende risico's een eerste stap is in de integrale risicoanalyse.

FIGUUR 7 OVERZICHT VAN RISICO'S VOOR REFERENTIE EN EFFECTEN VAN MAATREGELEN

	Referentie	Maatregel 1	Maatregel 2	Maatregel 3
Totale kosten				
Waarde Risico				
Maatregelen				
Bijdrage aan risico van verschillende type waterbezwaar (als % van het totaal risico)				
Stedelijk water				
Regionaal water				
Regionale waterkeringen				
Primaire waterkeringen				
Bijdrage aan risicobeheersing (als % risicoreductie en met welke maatregelen)				
Watersysteem				
Ruimtelijke omgeving				
Crisisbeheersing				

2.2.5 STAP 5: BESLUITVORMING

De stap van besluitvorming volgt op de integrale risicoanalyse, echter de besluitvorming valt buiten de scope van dit uniform raamwerk.

De risicoanalyse en eventuele kosten-batenanalyse zijn ondersteunend aan besluitvorming maar schrijft deze niet voor. De analyse geeft inzicht in de consequenties voor de betreffende parameters. Beslissers kunnen deze informatie gebruiken naast andere parameters om een afweging te maken.

3

CASE WOERDEN

3.1 INLEIDING

In Figuur 8 is een overzicht opgenomen van het projectgebied in de case Woerden. In deze case is voor de volgende types van waterbezwaar onderzocht in welke mate die van invloed zijn op het integrale risico:

- Extreme neerslag in stedelijk gebied (piekbuien);
- Inundatieschade in polders door langdurige neerslag;
- Doorbraken van regionale waterkeringen;
- Doorbraken van primaire waterkeringen.

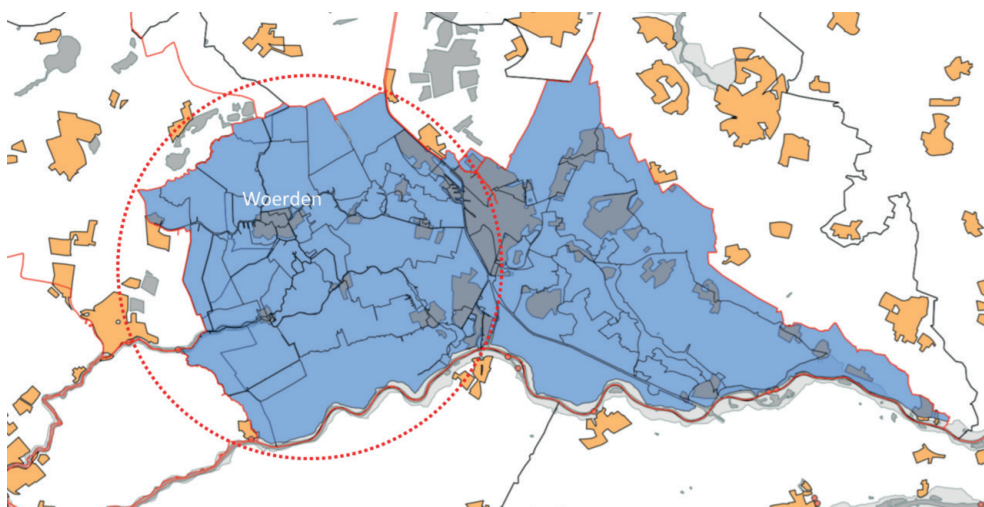
In dit hoofdstuk staan de bevindingen van de case. In Bijlage A is een uitgebreide beschrijving van deze case opgenomen.

Op de Oude Rijn lozen meerdere polders. Op de Oude Rijn lozen ook overstorten uit het stedelijk watersysteem, zoals bij Woerden. De huidige hoogtes van de overstorten zijn zo ontworpen dat deze net boven het niveau liggen, waarop op de Oude Rijn een maalstop wordt ingesteld. Door deze maalstops, waarbij de poldergemalen die lozen op de Oude Rijn worden stopgezet, wordt de waterstand op de Oude Rijn beheerst. Hierdoor is het vrijwel uitgesloten dat de overstort uit stedelijk gebied wordt geblokkeerd door te hoge buitenwaterstanden.

De Oude Rijn loost zelf op de boezem van Rijnland. De mogelijkheid om water te lozen naar Rijnland vormt ook één van de factoren die kunnen leiden tot verhoogde waterstanden in het gebied. Verder is er nog de mogelijkheid om water te sturen richting de Gekanaliseerde Hollandse IJssel.

FIGUUR 8

WATERSYSTEEM WOERDEN



3.2 BIJDRAGE VERSCHILLENDE WATERSYSTEMEN AAN INTEGRALE RISICO

Een eerste indicatie van de risico's in het gebied is opgesteld op basis van eerdere (landelijke) studies. Het totale risico is het geschat op 20.4 M€ per jaar (Tabel 1). Dit totale risico geldt voor de huidige situatie en is in Tabel 1 uitgesplitst naar de bijdrage van het stedelijke watersysteem, het regionale watersysteem, regionale en primaire waterkeringen. Deze risico's zijn bepaald op basis van (landelijk) beschikbare informatie, daarnaast is uitgegaan van de actuele (verwachte) faalkans.

	Stedelijk watersysteem	Regionaal watersysteem	Regionale keringen	Primaire keringen	Totaal
Risico [M€ per jaar]	1.3	3.65	2.2	13.2 ²	20.4
Contante waarde risico [M€]	26	73	44	264	408
Bron	Nieuwe kaart EU ROR	Normering regionale wateroverlast	Normering en LIWO/Risicokaart	VNK2 en nieuwe normen	

3.3 BESLISPROBLEEM CASE WOERDEN

In de case Woerden is onderzocht of een ander maalstopregime op de boezem van de Oude Rijn de totale risico's kan verlagen. Door een hoger maalstoppeil van 20 cm kan de schade in een polder worden verkleind (omdat de maalstop minder vaak voorkomt). Echter door de mogelijk verdrinken overstorten uit stedelijk gebied kan extra schade optreden en zijn er kadeversterkingen langs de Oude Rijn noodzakelijk.

De betrokken stakeholders bij deze case zijn de gemeente Woerden (als waterbeheerder, als ruimtelijk beleidsmaker/beheerder) en het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR, beheerder regionale wateren en keringen). In de studie is ook gekeken naar de maatschappelijke kosten en baten.

Voor de uitwerking van de studie is uitgegaan van gebiedsspecifieke modellen:

- Neerslagstatistieken zijn gebaseerd op de meest recente onderzoeken van STOWA.
- Het stedelijk watersysteem is beschreven met het model Infoworks (in beheer van de gemeente Woerden). Gebruik is gemaakt van buien van 20-80 mm per uur.
- Het polder-boezemsysteem is beschreven met een SOBEK-model in beheer van HDSR. Gebruik is gemaakt van een stochastenset aan berekeningen met verschillende neerslagduren, patronen, beginsituaties en wind.
- Schademodellering is uitgevoerd op basis van de Waterschadeschatter. Kosten zijn gebaseerd op kentallen.

3.4 INTEGRALE RISICOANALYSE

De schade in het stedelijke watersysteem van Woerden is opgenomen in Tabel 2, zowel voor de referentiesituatie als in geval van een geblokkeerde overstort. In Woerden is op 5 september 2018 een extreme bui gevallen van 94 mm in zeer korte tijd. Deze situatie kan worden vergeleken met het modelresultaat bij 80 mm in een uur. In deze periode is bij een (grote) verzekeraar een schade gemeld van enkele duizenden euro's aan woonhuizen en inboedel. Hierbij geldt de kanttekening dat het gaat om woningen en niet om andere objecten, en dat de verzekeringsmaatschappij niet iedereen verzekert. Ook vanuit de gemeente is er geen beeld van grote schades behalve een gestremde weg. Het water op deze weg was echter veroorzaakt door een geblokkeerde afsluiter.

² In 2017 zijn de normen opnieuw vastgesteld voor primaire waterkeringen. Als hieraan wordt voldaan is het risico geraamd op 6.2 M per jaar.

TABEL 2

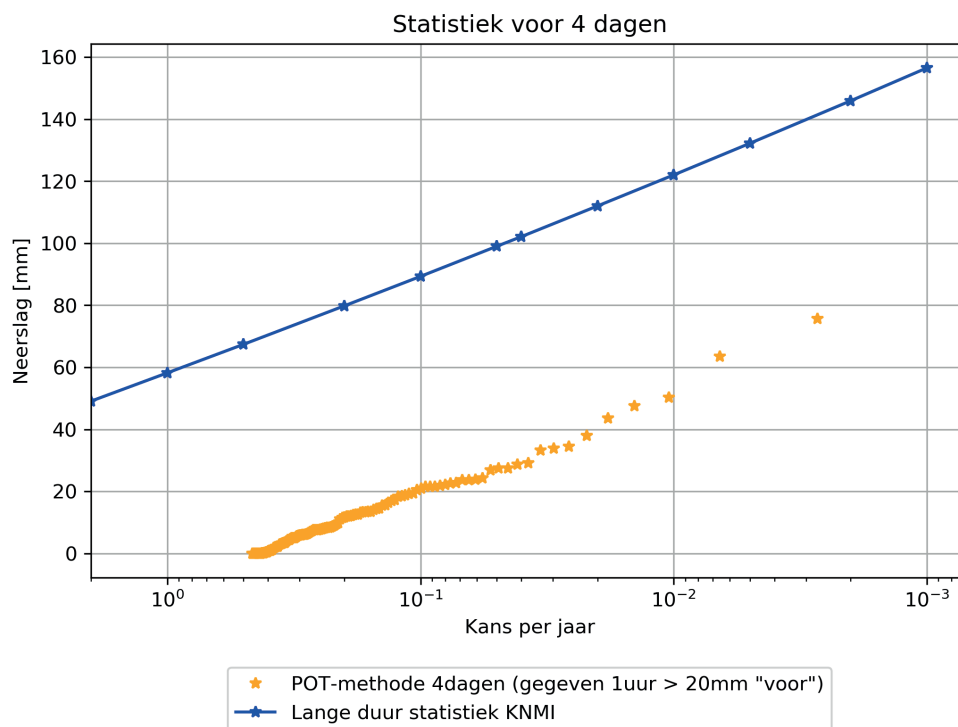
SCHADE PER WIJK VOOR VERSCHILLENDE NEERSLAGGEBEURTENISSEN BIJ VOLLEDIGE GESTREMDE OVERSTORT (IN MILJOENEN EURO'S)

Schade [M€]	20 mm/uur	40 mm/uur	60 mm/uur	80 mm/uur
Referentie	3.2	10.8	15.9	18.8
Gestremde overstort	3.7	11.2	16.1	19.2

Geconstateerd is dat de correlatie tussen waterbezwaar in de stedelijke omgeving en het polder-boezemsysteem erg laag is.

FIGUUR 9

KANS OP SAMENVALLEN EXTREME GEBIEDSNEERSLAG 4 DAGEN VOOR EEN PIEKNEERSLAG IN 1 UUR VAN MEER DAN 20MM



Op basis van een samengestelde 10-minuten neerslagreeks van 258 jaar een Peak Over Threshold (POT) analyse, blijkt dat de correlatie tussen een hoge piekneerslag in korte tijd in combinatie met veel gebiedsneerslag in de periode ervoor uiterst klein is. Vanwege traagheid in het regionale watersysteem zal bij een bui die gelijktijdig valt de afvoergolf uit de stad voorgaand op die van landelijk gebied. Daarom is gekeken naar de kans op veel langdurige gebiedsneerslag (met veel afvoer uit de polders) opgevolgd door piekneerslag in korte tijd. Deze kans op deze combinatie is vele malen kleiner als de kans op gebeurtenissen waarin zowel piekneerslag als gebiedsneerslag valt.

Op basis van dezelfde neerslagreeks blijkt wel dat er een duidelijke correlatie is tussen veel piek- en gebiedsneerslag, als deze beide onderdeel zijn van de geselecteerde periode. Echter deze correlatie wordt met name bepaald door de gebiedsneerslag zelf. In een polder-boezemsysteem zal dat alleen in zeer uitzonderlijke gevallen leiden tot samenvallen van hoge boezemwaterstanden en inzetten van overstorten, omdat het stedelijk watersysteem veel sneller reageert dan het regionale systeem. Om toch een beeld te vormen van de mogelijke correlatie is onderzocht wat het effect is als er 10% en 30% kans is op hoge buitenwaterstanden op de Oude Rijn in combinatie met een piekbui in de stad. De risico's, kosten en totale kosten zijn opgenomen in Tabel 3.

TABEL 3 RISICO'S, KOSTEN EN KBA RATIO CASE WOERDEN

	Referentie	Verhogen maalstoppeil + aangenomen correlatie tussen stedelijk en landelijk gebied van 10%	Verhogen maalstoppeil + aangenomen correlatie tussen stedelijk en landelijk gebied van 30%
Risico			
Risico	5.48 M€/jr	4.85 M€/jr	4.89 M€/jr
Netto contante waarde Risico	110 M€	97 M€	98 M€
Bijdrage van deelsystemen aan risico			
Stedelijk watersysteem	1.83	1.85	1.90
Regionaal watersysteem	3.65	2.99	2.99
Kosten [k€]			
Kosten versterken waterkeringen	-	18 M€	18 M€
Baten gewasschadereductie	-	Niet bepaald	Niet bepaald
Totalen [k€]			
Totale kosten	110 M€	115 M€	116 M€
KBA ratio		negatief	negatief

3.5 BEVINDINGEN IN CASE WOERDEN

De case studie levert de onderstaande conclusies op.

Uitvoerbaarheid. Het vergelijken van deze risico's van verschillende watersystemen en kwantificeren van de bijdrage van het watersysteem en crisisbeheersing is mogelijk gebleken.

Kosteneffectiviteit/doelmatigheid. Geconcludeerd is dat het verhogen van het maalstoppeil niet kosteneffectief is vanwege de (relatief grote) kosten van dijkversterking.

Hoewel het niet is onderzocht, kan het verlagen van overstortniveaus mogelijk wel kosten-effectief zijn vanwege de lage correlatie met het polder-boezemsysteem.

Correlatie. Geconcludeerd is dat het verhogen van het maalstoppeil niet kosteneffectief is vanwege de (relatief grote) kosten van dijkversterking. De kans dat tegelijkertijd wateroverlast optreedt in zowel stedelijk gebied (wanneer de overstorten ingezet worden) en het polder-boezemsysteem (waardoor maalstops) optreden blijkt klein, uitgaande van neerslagstatistieken en de reactie van het watersysteem. Dit komt omdat:

- De kans op een grote (langdurige) gebiedsneerslag gevolgd door een grote piekbui in de stad op basis van de huidige neerslagstatistieken zeer klein is. Deze correlatie wordt pas relevant bij zeer kleine terugkeertijden (veel strenger dan de huidige normen).
- Het regionaal watersysteem veel trager reageert dan het stedelijk watersysteem.

In bovenstaande analyse is geen rekening gehouden met de effecten van beheer en onderhoud.

Schade. De bijdrage van de schade in het stedelijke watersysteem aan het totale risico is gering (voor de uitwerking in Woerden) ten opzichte van de kosten van met name versterking van regionale waterkeringen.

De berekende schade op basis van de waterdata in zowel het stedelijk gebied als in het landelijk gebied is erg onzeker.

- De schades in de stedelijke omgeving zijn naar verwachting factoren te hoog ingeschat en worden nu overschat. Verzekeringsdata op basis van een vergelijkbare gebeurtenis (september 2018) levert een aanzienlijke lagere schade dan de modellen (enkele duizenden euro's versus ongeveer 20 miljoen euro). Ook de gemeente Woerden bevestigt het beeld dat de schade in dergelijke events eerder enkele tienduizenden euro's is dan miljoenen.
- De berekende schades, en de bijdrage van verschillende vormen van grondgebruik in landelijk gebied leveren ook bij lagere terugkeertijden hoge schades. De oorzaak is de koppeling tussen water (uit het hydrologisch model) en grondgebruik in het schademodel. In de praktijk wordt het niet herkend dat dergelijke objecten onder water staan.
- Gewasschade, door hoge grondwaterstanden maar zonder inundaties, is mogelijk een extra baat als gevolg van betere lozingsmogelijkheden uit een polder. Deze baat is nu niet meegenomen (maar heeft ook geen effect op de conclusie).

3.6 REFLECTIE VOOR DE INTEGRALE RISICOANALYSE

Schematisatie. De schematisatie van de modellen behoeft consistentie en vergt aandacht. Het is te makkelijk geredeneerd dat op basis van de meeste actuele basisdata geschikte modellen kunnen worden opgesteld waarmee de analyses worden uitgevoerd. Dit vereist ook dat de hele modellentrein aangepast moet worden, steeds als er iets verandert. Geconstateerd is dat de hoogtekaart, het grondgebruik, het watermodel en het schademodel op dezelfde manier moet worden toegepast, waarbij het wenselijk is dat de modelleur deze keuzes maakt en niet beperkt wordt door de modellen. Zeker als gebruik wordt gemaakt van een grote hoeveelheid bestaande gegevens is het belangrijk dat de modelleur 'in control' is en dat keuzes niet (impliciet) worden gemaakt door de modellen.

Verbeteren schademodellering. Om de nauwkeurigheid van de integrale risicoanalyse te vergroten is het wenselijk om de schademodellen te verbeteren. Aanbevolen wordt om op basis van werkelijke schades schadefuncties te verbeteren.

Daarnaast wordt aanbevolen om de gewasschade (door hoge grondwaterstanden) bij vaker voorkomende situaties mee te nemen. Tijdens de wateroverlast van 1998 was dat namelijk de voornaamste schadepost voor de WTS uitkering.

Correlaties. De correlaties voor Woerden zijn gebaseerd op de werking van het watersysteem, waarin rekening is gehouden met neerslag, wind en de bergingssituatie. Er is geen rekening gehouden met andere factoren als beheer en onderhoud, veroudering, falen van kunstwerken etc. Voor Woerden is de traagheid in de reactie van het regionale watersysteem van belang voor de correlatie. Deze traagheid, of snelheid van reageren, kan bij een ander watersysteem (of in andere situaties) anders zijn. Het is dus voorbarig om deze correlatie tussen waterbezwaar in de stedelijke omgeving en het polder-boezemsysteem in heel Nederland uit te sluiten.

In de huidige analyse is er alleen een correlatie verondersteld in combinatie met piekbuien in de stad. In theorie, uitgaande van de berging en afvoercapaciteit van een riool kunnen er ook overstorten plaatsvinden bij langdurige neerslag. Indien bijvoorbeeld 100 mm in 3 dagen valt dan zal er water op straat blijven staan of ze er water overstorten. Vanuit de praktijk deze situaties echter niet bekend en daarom niet meegenomen. Daarnaast zal rekening moeten worden gehouden met neerslagpatronen en de reactiesnelheid van de watersystemen. Het effect op het integrale risico lijkt beperkt. De huidige analyse geeft al aan dat een verhoogde correlatie beperkt effect heeft op het integrale risico. Daarnaast is de schade in stedelijk gebied als veel te hoog aangemerkt.

4

CASE RIJNLAND

4.1 INLEIDING

Voor de case Rijnland is de invloed van de volgende actoren op het integrale risico onderzocht:

- Extreme neerslag in stedelijk gebied (piekbuien);
- Inundatieschade in polders door langdurige neerslag;
- Doorbraken van regionale waterkeringen;
- Doorbraken van primaire waterkeringen.

In dit hoofdstuk zijn de bevindingen van de case opgenomen, waarin is gekeken naar compartimentering van de boezem. In Figuur 10 is een overzicht opgenomen van de compartimenten die gevormd kunnen worden op de boezem van Rijnland. In Bijlage B is een uitgebreide beschrijving van deze case opgenomen.

FIGUUR 10

COMPARTIMENTEN OP DE BOEZEM VAN RIJNLAND



4.2 BIJDRAGE VERSCHILLENDE WATERSYSTEMEN AAN INTEGRALE RISICO

Een eerste indicatie van de risico's in het gebied is opgesteld op basis van eerdere (landelijke) studies. Het huidige risico voor waterbezwaar in het gehele beheergebied van Rijnland is weergegeven in Tabel 4, in totaal is het geschat op 64.5 M€ per jaar. Dit risico geldt voor de huidige situatie en is samengesteld uit een bijdrage van het stedelijke watersysteem, het regionale watersysteem, regionale en primaire waterkeringen. Deze risico's zijn bepaald op basis van (landelijk) beschikbare informatie. Als er een uitsplitsing wordt gemaakt op polder- of compartimentniveau dan kan er een duidelijk andere verdeling ontstaan.

TABEL 4 RISICO BIJ RIJNLAND VOOR DE HUIDIGE SITUATIE

	Stedelijk watersysteem	Regionaal watersysteem	Regionale keringen	Primaire keringen	Totaal
Risico [M€ per jaar]	25.2	0.6	14.5	24.2 ³	64.5
Contante waarde risico [M€]	504	12	290	484	1290
Bron	Nieuwe kaart EU ROR	Normering regionale wateroverlast	Normering en LIW0/Risicokaart	VNK2 en nieuwe normen	

4.3 BESLISPROBLEEM CASE RIJNLAND

Deze case heeft betrekking op de inzet van noodwaterkeringen, ofwel compartimenteringskeringen in de boezem. De vraag hierbij is of het investeren in deze keringen doelmatig is om te voldoen aan de normstelling van deze keringen of zelfs zodanig effectief dat deze normen verlaagd kunnen worden. We kijken naar een investering in de bestaande compartimenteringskeringen en naar de inzet van een mobiele noodwaterkering.

In de case bij Rijnland is voor drie polders (Figuur 11) onderzocht of de inzet van (nood) compartimentering van de boezem, in geval van een (dreigende) doorbraak een doelmatige (kosteneffectieve) strategie is op basis van de integrale risicobenadering. Deze drie polders zijn gekozen op basis van hun gebiedskenmerken:

- Polder Vierambacht in het compartiment Aarkanaal is gelegen tussen kanalen met meren in de buurt
- Polder Vierambacht in het compartiment Braassemermeer is gelegen aan een meer).
- Meeslouwerpolder in het compartiment Zoetermeer is gelegen tussen kanalen nabij een stedelijke omgeving.

Verondersteld is dat de bressen 48 uur na de doorbraak zijn gedicht⁴.

De huidige (sectorale) aanpak is vergeleken met een integrale aanpak. In de sectorale aanpak wordt de normstelling afgeleid op basis van de schade in de betreffende polder, conform de leidraad normering boezemkeringen. In de integrale aanpak kijken we naar het totale risico voor Rijnland.

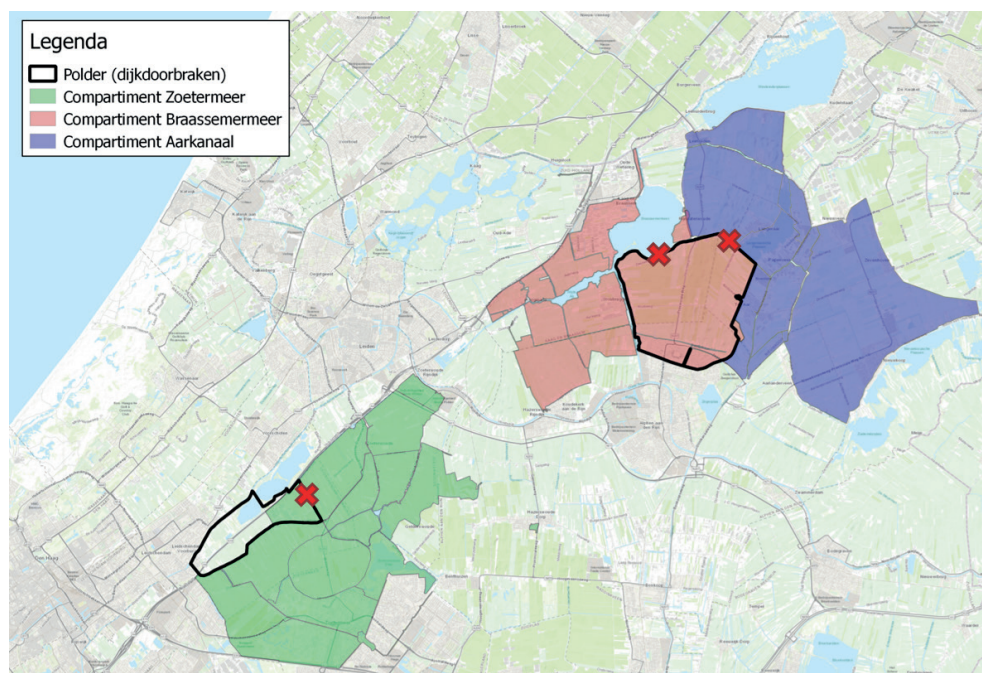
Bij de studie zijn drie afdelingen van het waterschap betrokken als stakeholder: het regionale watersysteem, regionale keringen en crisisbeheersing.

³ In 2017 zijn de normen opnieuw vastgesteld voor primaire waterkeringen; als hieraan wordt voldaan is het risico geraamd op 4.1 M€ per jaar.

⁴ Bij de normering is verondersteld dat er geen beheermaatregelen worden genomen een er dus evenwicht ontstaat tussen de waterstand in de boezem en de polder)

FIGUUR 11

OVERZICHT VAN DE POLDERS DIE LOZEN OP DRIE BESCHOUWDE COMPARTIMENTEN EN DE BRESLOCATIES (RODE KRUIZEN) EN BIJBEHORENDE POLDER DIE VOLSTROOMT DOOR EEN DIJKDOORBRAAK



Voor deze polders is het effect van compartimentering bepaald. Hierbij zijn de volgende varianten bekeken en vergeleken met de huidige situatie:

- Uitgaande van de huidige compartimenteringswerken:
 - T12, hierbij wordt de compartimentering 12 uur voor de doorbraak opgestart en is effectief op het moment van falen. Verondersteld is dat de kans van optreden 12 uur voor de doorbraak 20% is.
 - T6, hierbij wordt de compartimentering 6 uur voor de doorbraak opgestart en is effectief 6 uur na falen. Verondersteld is dat de kans van optreden 6 uur voor de doorbraak 20% is.
 - T0, hierbij wordt de compartimentering na de doorbraak opgestart en is effectief 12 uur na falen.
- Een nieuwe mobiele compartimentering, aangeduid als MTO, die een zone van 2 km rondom de bres compartimenteert na falen van de waterkeringen.

In de sectorale analyse (op polderniveau gebaseerd op de IPO leidraad voor normering boezemkaden) is gekeken naar:

- Het effect op schade van waterbezwaar in de doorgebroken polder
- De kosten van verbeteren van de compartimenteringsmaatregelen zodat deze uitvoerbaar zijn.

In de integrale analyse (met het schaalniveau van de boezem) is vervolgens gekeken naar:

- De schade aan de boezem door compartimentering (vanwege dalende waterstanden)
- De kosten van crisisbeheersing om tijdig de maatregel in te kunnen zetten (het gaat hierbij om de organisatie gegeven het feit dat de compartimenteringswerken er zijn).
- De extra schade als gevolg van maaltstops in polders die lozen op het compartiment.
- De baten van voorkomen van versterkingen van regionale waterkeringen zijn beschouwd via een kosten-batenanalyse en de mogelijke investeringsruimte.

Voor de uitwerking van de studie is uitgegaan van gebiedsspecifieke modellen:

- Neerslagstatistieken zijn gebaseerd op de meest recente STOWA onderzoeken.
- Een SOBEK model voor hydraulica op de boezem en afvoercapaciteiten.
- Het AHN3 voor bepaling van inundatiedieptes na een dijkdoorbraak of maalstops.
- SSM2017 en Waterschadeschatter voor schademodelering.

4.4 INTEGRALE RISICOANALYSE

De studie leidt tot de volgende resultaten, waarbij onderscheid gemaakt kan worden in de methodiek en de toepassing voor de beschouwde polders in Rijnland. Als voorbeeld is in Tabel 5 de Meeslouwerpolder uitgewerkt voor de sectorale benadering. Voor de andere polders is alleen de eindconclusie opgenomen in Tabel 6. In de sectorale benadering wordt alleen naar de doorgebroken polder gekeken. Geconcludeerd wordt dat de schades (en risico's) in de polder zelf aanzienlijk kunnen worden verlaagd door compartimentering. Ook wordt opgemerkt dat het realistischer inschatten van de tijdsduur van een doorbraak (we hanteren nu 48 uur in tegenstelling tot een oneindig lange periode bij de normering) al kan leiden tot lagere normklassen.

TABEL 5 RISICO'S EN KOSTEN OP POLDER IN K€ MEESLOUWERPOLDER (SCHAALNIVEAU POLDER)

	Referentie	T12	T6	T0	MT0
Contante waarde risico [k€]					
Regionale keringen	2068	45	198	449	133
Kosten [k€]					
Kosten maatregelen	-	60	60	60	115
Kosten crisisorganisatie	-	73	36	-	-
Totalen [k€]					
Totale kosten	2068	178	294	509	248
Kosten-baten afweging		positief	positief	positief	Positief

TABEL 6 KOSTEN-BATEN AFWEGING VOOR VIERAMBACHT EN BRAASSEMERMEER IN SECTORALE BENADERING

	Referentie	T12	T6	T0	MT0
Kosten [k€]					
Totale kosten	138	156	169	108	127
Kosten-baten afweging		negatief	negatief	positief	positief
Totalen [k€]					
Totale kosten	2136	721	1095	1465	1021
Kosten-baten afweging		positief	positief	positief	Positief

In Tabel 7 is voor de Meeslouwerpolder ook de uitwerking opgenomen op basis van de integrale analyse. In Tabel 8 zijn de conclusies voor de andere twee polders opgenomen.

TABEL 7

INTEGRALE RISICOANALYSE IN K€ MEESLOUWERPOLDER (SCHAALNIVEAU COMPARTIMENT)

	Referentie	T12	T6	T0	MT0
Contante waarde risico [k€]					
Regionale keringen	10327	8304	8457	8708	8392
Kosten [k€]					
Kosten maatregelen	-	60	60	60	115
Kosten door veroorzaakte schade	-	1457	1457	711	-
Kosten Crisisorganisatie	-	73	36	-	-
Schade aan boezem	169	6600	6600	6600	169
Totalen [k€]					
Totale kosten	10496	15328	15444	15510	8561
Kosten-baten afweging		Negatief	Negatief	Negatief	Positief

TABEL 8

KOSTEN-BATEN AFWEGING VOOR VIERAMBACHT EN BRAASSEMERMEER IN INTEGRALE BENADERING

	Referentie	T12	T6	T0	MT0
Vierambacht					
Totale kosten	6197	6428	6404	6380	6221
Kosten-baten afweging		Negatief	Negatief	Negatief	Negatief
Totalen [k€]					
Totale kosten	4418	3743	4118	4479	3304
Kosten-baten afweging		Positief	Positief	Negatief	Positief

4.5 BEVINDINGEN IN CASE RIJNLAND

Uitvoerbaarheid. Het vergelijken van deze risico's van verschillende watersystemen en kwantificeren van de bijdrage van het watersysteem en crisisbeheersing is mogelijk gebleken.

Kosteneffectiviteit/doelmatigheid. De mobiele compartimenterings-strategie heeft in alle gevallen relatief de meest positieve kosten-baten afweging, en in een bepaalde situatie (in een polder met weinig schade) ook absoluut gezien een positieve KBA ratio. Dit komt met name omdat deze mobiele compartimenteringstrategie de schade aan de boezem ook het meest verkleint.

De doelmatigheid van compartimenteren, uitgaande van een gelijke norm voor de regionale waterkering, varieert per polder en compartiment:

- Bij Vierambacht in het Braassemermeer, waarbij er snel veel water de polder in kan stromen, is tijd een belangrijke factor. Als het sluiten van het compartiment langer duurt dan grofweg een halve dag, is de KBA ratio negatief omdat de schade in de polder dan te weinig daalt. Een andere belangrijke factor is het verkleinen van het areaal waarover de waterstand op de boezem daalt.
- Bij Vierambacht in het Aarkanaal is de schade in de doorgebroken polder al relatief laag, en de schade aan de boezem relatief hoog.
- Voor de Meeslouwerpolder, in stedelijk gebied, is de inzet van de mobiele compartimentering effectief.

De doelmatigheid van compartimenteren wordt in algemene zin minder doelmatig als integraal wordt gekeken dan als sectoraal wordt gekeken. Dit komt door de kosten van maaltstops, de crisisbeheersing en in de meeste gevallen de schade aan de boezem. De doelmatigheid kan groter worden als investeringen aan waterkeringen kunnen worden voorkomen door een lagere normstelling.

Verdere investeringen in verbeteren van de crisisorganisatie waarbij de uitvoeringstijd kan worden verkort zijn zeer snel kosteneffectief.

Schematisatie. De hoeveelheid water, die de polder in kan stromen, bepaalt in sterke mate de schade. Deze parameter is belangrijker dan de keuze voor het schademodel of de modellering. Dit volume water (wat de polder in kan stromen, en tegelijk wat zal leiden tot een daling van de waterstand op de boezem) is afhankelijk van:

- De omvang van de bres;
- De aanvoercapaciteit via de boezem;
- Beheermaatregelen, zoals realiseren van compartimenten en sluiten van de bres.

Aanpassen normering regionale waterkeringen. Toepassen van de integrale risicoanalyse kan in sommige situaties ook leiden tot een lagere (minder strenge) norm voor regionale waterkeringen als doelmatigheid hierbij leidend is. De totale kosten van de risico's en de benodigde investeringen is dan lager. De consequentie is wel dat wateroverlast in deze polder vaker optreedt.

4.6 REFLECTIE VOOR DE INTEGRALE RISICOANALYSE

Onder deze noemer brengen van kansen, gevolgen en risico's.

Het kunnen vergelijken van de risico's uit verschillende watersystemen vereist dat de risico's, kansen en gevolgen onder dezelfde noemer worden gebracht. Voor deze case zijn relevant:

- Vertaling overschrijdingskans waterstand (bij de norm van een kering) naar een overstromingskans (daadwerkelijk falen).
- Meenemen van systeemwerking op een compartiment (als 1 waterkering faalt, zal de rest waarschijnlijk niet falen).
- Het meenemen van beheermaatregelen (crisisbeheersing) bij het bepalen van de gevolgen.

Realistisch inschatten van parameters (als de doorbraakduur) levert al meerwaarde. Een meer realistische schatting van de overstromingsgevolgen dan nu meegenomen in de normering (waar een conservatieve schatting is gehanteerd), door aannemelijke beheermaatregelen te verdisconteren in de duur en omvang van de instroom uit de boezem naar de polder, kan met name voor polders die niet langs grote meren liggen leiden tot daling van één of twee normklassen.

Schademodellering. Compartimenteren van de boezem leidt tot grotere schade aan de boezem zelf, doordat de waterstand op het compartiment sterk daalt. De schade aan de boezem is echter nog wel grof ingeschat en kan worden verbeterd door deze te relateren aan de (ruimtelijke) peildaling.

De schade in de stedelijke omgeving is erg onzeker ingeschat door Rijnland. Er zijn elders ook duidelijke aanwijzingen, mede op basis van schades bij verzekeraars, dat de huidige schade factoren wordt overschat. Aanbevolen wordt om voor de duiding van de integrale risicoanalyse duidelijk te benoemen dat de schadepeiling nu onderwerp van discussie is.

5

CASE OBJECT - DATACENTRUM

5.1 INLEIDING

In deze case kijken we naar een polder waarin een waardevol object wordt geplaatst: een data-centrum van 40.000m². Dit object kan leiden tot werkgelegenheid en economische ontwikkeling in de omgeving. Echter dit object kan ook leiden tot een extra schade in geval van waterbezwaar en zo tot extra investeringen in het watersysteem.

In deze case 'object' is voor een fictieve situatie uitgewerkt wat de consequenties zijn als een waardevol object wordt geplaatst in een gebied. Deze plaatsing is om tal van redenen aantrekkelijk, zonder rekening te houden met het watersysteem. Daardoor nemen de risico's toe. Als gevolg van deze toename van de risico's zijn ook (kostbare) ingrepen aan het watersysteem noodzakelijk. In Bijlage C is een uitgebreide beschrijving van deze case opgenomen.

5.2 BIJDRAGE VERSCHILLENDE WATERSYSTEMEN AAN INTEGRALE RISICO

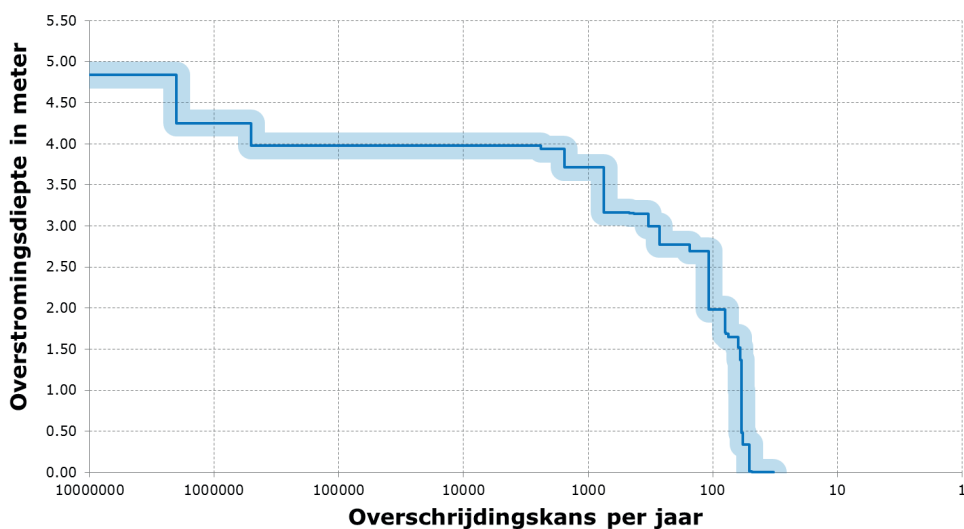
In deze case staat een fictief object op een fictieve locatie centraal. Waterbezwaar treedt op in geval van:

- Extreme neerslag (enkele centimeters);
- Doorbraken regionale waterkeringen (enkele decimeters);
- Doorbraken van primaire waterkeringen (variërend van één tot enkele meters).

Een eerste indicatie van de risico's in het gebied is opgesteld op basis van eerdere (landelijke) studies. Het huidige risico voor waterbezwaar in de polder waarin het datacentrum ligt (inclusief een andere stedelijke kern) is weergegeven in Tabel 9, in totaal is het geschat op 2.27 M€ per jaar. Deze risico's zijn bepaald op basis van (landelijk) beschikbare informatie.

FIGUUR 12

WATERBEZWAAR FICTIEF OBJECT: OVERSTROMINGS-RISICOPROFIEL



TABEL 9 RISICO VOOR DE HUIDIGE SITUATIE

	Stedelijk watersysteem	Regionaal watersysteem	Regionale keringen	Primaire keringen	Totaal
Risico [M€ per jaar]	0.14	0.11	1.6	1.84 (0.06)	2.37
Contante waarde risico [M€]	2.8	2.2	5.4	36.8 (1.2)	47.3
Bron	Nieuwe kaart EU ROR	Normering regionale wateroverlast	Normering en LIW0/ Risicokaart	VNK2 (en nieuwe normen)	

5.3 BESLISPROBLEEM CASE OBJECT

Op deze locatie wordt een datacentrum als fictief object aangelegd, wat ertoe leidt dat de waarde in dit gebied toeneemt. Hierdoor neemt ook de schade als gevolg van waterbezwaar toe en wordt niet meer voldaan aan de normen voor de watersystemen. De vraag is echter waar nu het beste maatregelen kunnen worden genomen om het risico te verlagen. We onderzoeken de volgende varianten:

- Ruimtelijke ingrepen, waardoor er minder schade optreedt aan het object (denk aan verhoogd aanleggen, dry- en wetproofing, kwetsbare onderdelen op hogere verdiepingen).
- Vergroten van de afvoercapaciteit van het watersysteem (vergroten van gemalen).
- Versterken van de regionale waterkeringen (verbreden en verhogen).
- Crisisbeheersingsmaatregelen, door evacueren van waardevolle spullen en overnemen van bedrijfsprocessen elders. Hierdoor neemt de schade af door wateroverlast, waardoor de norm voor regionale waterkering slechts naar een klasse IV gaat.

In deze case komen de volgende stakeholders samen:

- De waterbeheerder vanuit extreme neerslag en waterkeringen: het grondgebruik verandert waardoor andere eisen worden gesteld.
- Vanuit ruimtelijk beleid de gemeente en provincie en de eigenaar / ontwikkelaar van het object.
- Vanuit de crisisbeheersing het waterschap, de veiligheidsregio en de beheerder zelf.

5.4 INTEGRALE RISICOANALYSE

De toename van de schade door het object is als volgt vormgegeven:

- Extreme neerslag (normering regionale wateroverlast): Door het gebouw wordt de huidige locatie (wat nu akkerland is) bebouwd gebied. De vigerende norm voor bebouwd gebied is 1/100 pj voor extreme gebiedsneerslag. Het oppervlaktewatersysteem voldoet zodoende niet meer aan de eisen voor inundatie. De extra schade is 50 M€.
- Regionale waterkeringen: Omdat het object ook zal overstromen in geval van een doorbraak neemt de schade in de polder toe. De normklasse stijgt van III naar V (overschrijdingskans van de waterstand van 1/1.000 pj). De extra schade is 350 M€.
- Primaire keringen: De schade bij een doorbraak van een primaire waterkering neemt ook toe met 350 M€, echter dat heeft geen effect op de normering van primaire waterkeringen.

In Tabel 10 is een overzicht opgenomen van de risico's, de kosten en de totale kosten. In dit overzicht is onderscheid gemaakt naar de verschillende componenten van de integrale risicoanalyse.

TABEL 10 OVERZICHT RISICO'S, KOSTEN EN TOTALE KOSTEN

	Referentie	Dijkversterking	Extra gemaal	Ruimtelijke inrichting	Dijkversterking en extra gemaal	Crisis-beheersing
Totale NCW Risico	154	13.4	143.8	3.8	3.4	107.7
NCW Risico watersysteem	12	12	1.8	2.2	1.8	8.5
NCW risico regionale keringen	142	1.4	142	1.6	1.6	99
Kosten		3	1.5	40	4.5	0.1
Kosten dijkversterking		3			3	
Kosten gemaal			1.5		1.5	
Kosten ruimtelijke inrichting				40		
Kosten crisisbeheersing						0.1
Totale kosten	154	16.4	145.3	43.8	7.9	107.8

5.5 BEVINDINGEN IN CASE OBJECT

Afschrijvingstermijn. In datacentra wordt de inboedel veel sneller vervangen dan in andere objecten. Daarom is ook onderzoek gedaan naar de invloed van deze vervangings- of afschrijvingstermijn. Naarmate de inboedel sneller vervangen wordt, en de afschrijvingstermijn dus korter is, dan is het minder aantrekkelijk om preventieve maatregelen te nemen. Indien dit soort objecten in een gebied aanwezig zijn, en indien deze significant bijdragen aan het risico, kan het wenselijk zijn om hiervoor een aparte discontovoet te hanteren.

5.6 REFLECTIE VOOR DE INTEGRALE RISICOANALYSE

Omslagpunten voor maatregelen. In het rekenvoorbeeld, dat is uitgewerkt, blijkt duidelijk dat er 'omslagpunten' zijn. Een omslagpunt is hierbij gedefinieerd als het moment waarop een maatregel in een watersysteem of in de crisisbeheersing aantrekkelijker is dan een maatregel in/aan het object zelf. Waar het omslagpunt ligt is afhankelijk van het watersysteem en het object zelf. Het werken middels een integrale risicoanalyse geeft zo zicht op de meest doelmatige maatregel.

6

CASE BREDA

6.1 INLEIDING

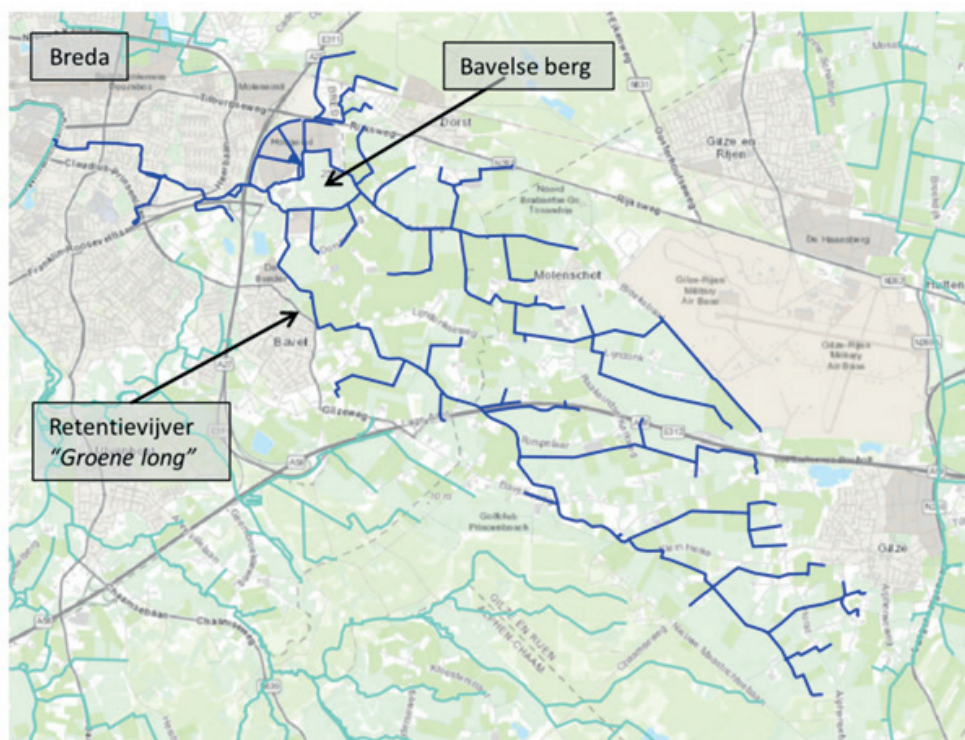
In de case voor Breda is gekeken naar de interactie tussen het regionale watersysteem (stroomgebied Molenleij) en het stedelijk watersysteem rondom Breda en Bavel op basis van de integrale risicobenadering. De volgende mogelijke interacties zijn benoemd:

- Extreme afvoer via de beek die leidt tot overlast in de stedelijke omgeving. Het water kan via maaiveld stromen maar ook de riolering kan het water uit de beek 'de stad in' transporteren.
- Indien er ook neerslag is in de stad zal deze lastiger tot afstroming komen als de 'buitenwaterstand' (bij verdrongen overstort) hoog is.

In dit hoofdstuk is een samenvatting van de bevindingen gegeven. In bijlage D is een uitgebreide analyse opgenomen.

FIGUUR 13

KNELPUNTEN WATERSYSTEEM-ANALYSE MOLENLEIJ



Er zijn in het verleden in een watersysteemanalyse een drietal knelpunten voor wateroverlast gedefinieerd (Figuur 14). Daarnaast is de vraag of de interactie tussen de beek en afvoer via overstorten nog leidt tot extra knelpunten.

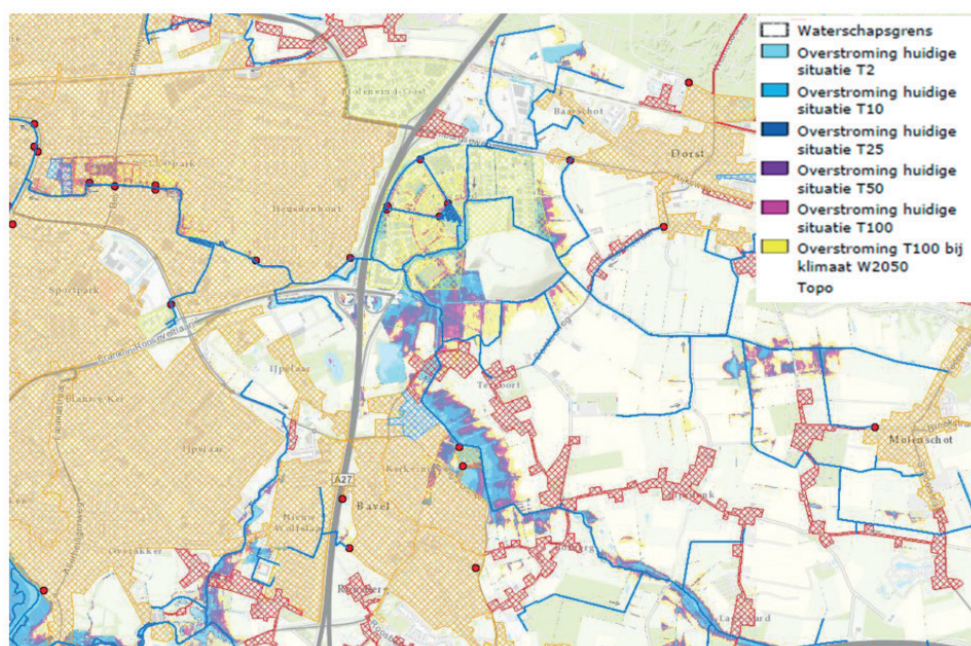
1. Zone rond Bavelse Berg waar een evenemententerrein en industrieterrein gelegen is. De komende jaren zal dit terrein verder worden uitgebreid.

2. Aan de zuidoostkant van Breda ligt Bavel, waarlangs de Gilzewouwerbeek stroomt. Bij zware regenval overstromen de zones aan de oostkant van Bavel tussen de Gilzewouwerbeek en het dorp Bavel door neerslagafstroming vanaf bovenstrooms. Langs deze beek ligt een retentievijver (de Groene Long) waar overstorten van het stedelijk watersysteem kunnen lozen bij hevige kortdurende neerslag. Deze overstorten hebben geen kleppen. Bij hoge waterstanden in deze vijvers en door hoge afvoeren in de beek ontstaat er ongewenste interactie tussen oppervlaktewater en de riolering in het dorp.
3. Na de samenkomen van de verschillende beken bij de Bavelse berg stroomt het water via de stadsbeek Molenleij door de wijk Brabantpark van Breda richting de singel. Bij hevige regenval staat de stadsbeek Molenleij vol tot aan de lage kades in het park. De gemeente en het waterschap zijn bang voor wateroverlast in dit stedelijk gebied waar ook overstorten lozen op de stadsbeek.

6.2 BIJDRAGE VERSCHILLENDE WATERSYSTEMEN AAN INTEGRALE RISICO

Het projectgebied is opgenomen in Figuur 14. Het stroomgebied van de Molenleij ligt in de driehoek tussen Breda, Rijen en Gilze en bestaat uit twee beken, die bij de Bavelse Berg samen komen tot de stadsbeek Molenleij. Bovenstrooms van de Bavelse Berg stroomt de Gilzewouwerbeek langs Bavel, waar retentievijver 'Groene Long' gelegen is (dienend voor het stedelijk watersysteem).

FIGUUR 14 OVERSTROMINGS-CONTOUREN PROJECTGEBIED. MET DAARIN OMCIRKELT DE DEELGEBIEDEN BRED (LINKS BOVEN) EN BAVEL (RECHTS MIDDEN). DE RODE PUNTEN GEVEN DE LOCATIES VAN DE OVERSTORTEN WEER



Het integrale risico wordt bepaald door de gevolgen van extreme neerslag in de stedelijk en de landelijke omgeving. Het projectgebied kan niet overstromen als gevolg van doorbraken van primaire of regionale waterkeringen.

6.3 BESLISPROBLEEM CASE BREDA

Het doel van deze case is een afweging maken of het doelmatig is om het risico op wateroverlast met maatregelen te beperken, waarbij de volgende vragen worden beantwoord:

1. Hoe groot is het totale risico op wateroverlast?
2. In welke mate wordt de wateroverlast veroorzaakt door het regionale systeem en in welke mate door het stedelijk systeem?
3. In welke mate kan het risico met maatregelen in ofwel regionaal systeem ofwel rioolstelsel worden verminderd?

6.4 INTEGRALE RISICOANALYSE

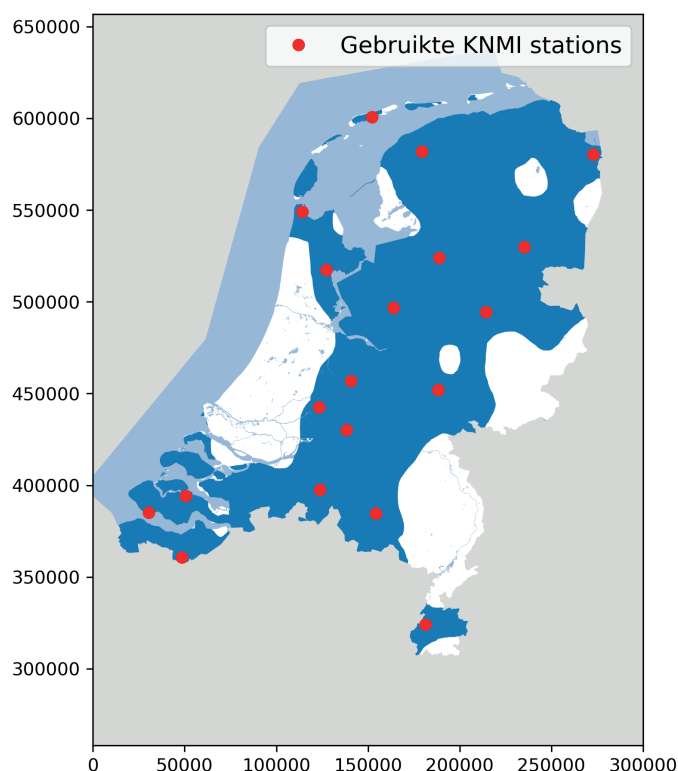
6.4.1 GEBRUIKTE INFORMATIE

De volgende meteorologische is gebruikt:

- De nieuwe neerslagstatistiek (STOWA, 2019)
- Metingen van 10 minuten waarden van verschillende (vergelijkbare) stations in een vergelijkbaar klimaatregime waarmee een 258-jarige reeks is samengesteld (zie Figuur 15).
- Neerslaggebeurtenissen van korte duur (STOWA, 2019) voor het stedelijk watersysteem die worden doorgerekend met een model voor het stedelijk gebied.

FIGUUR 15

GEBRUIKTE NEERSLAGSTATIONS VOOR GEPOOLDE TIJDREEKS



Voor de uitvoering van de studie was er de beschikking over een SOBEK model (neerslag afvoer en 1D) voor de Molenleij en een Infoworks model voor het stedelijk gebied. Om de samenhang te onderzoeken van het stedelijke en regionale watersysteem (aan de hand van de samengestelde neerslagreeksen) is het Infoworks model omgezet naar SOBEK en zijn de modellen samengevoegd tot één model. Met dit model is de interactie tussen het stedelijk en regionale watersysteem onderzocht. Op basis van deze beschikbare modellen worden de waterstanden

bepaald als gevolg van neerslag. Op basis van de waterstanden is de schade bepaald met de Waterschadeschatter. Hierbij is voor de schade aan bebouwing een correctie uitgevoerd omdat deze gebouwen niet in de modellen zijn opgenomen. De schade is bepaald op basis van de waterstand in omliggende gebieden en houdt rekening met een drempelwaarde. Deze aanpak is ook gebruikt voor de bepaling van de schade voor de EU ROR (Slager, 2018). Voor de bepaling van de schade als gevolg van langdurig extreme neerslag is gebruik gemaakt van de NBW-toetsing waarin composiet hydrogrammen zijn doorgerekend met een hydraulisch model van de Molenleij (Witteveen&Bos, 2018).

6.4.2 CORRELATIES

Op basis van de 258-jarige neerslagreeks van 10 minuten kan bepaald worden wat de effecten zijn van de neerslag op de waterstand en het risico. De eerste stap is om te kijken naar de correlatie tussen piekneerslag van korte (10 min) en van lange duur (3 dagen) aan de hand van de Peak Over Threshold methode. Als drempelwaarde hebben we de neerslaghoeveelheid gekozen die overeenkomt met een herhalingstijd van circa één jaar voor zowel korte als voor lange duur.

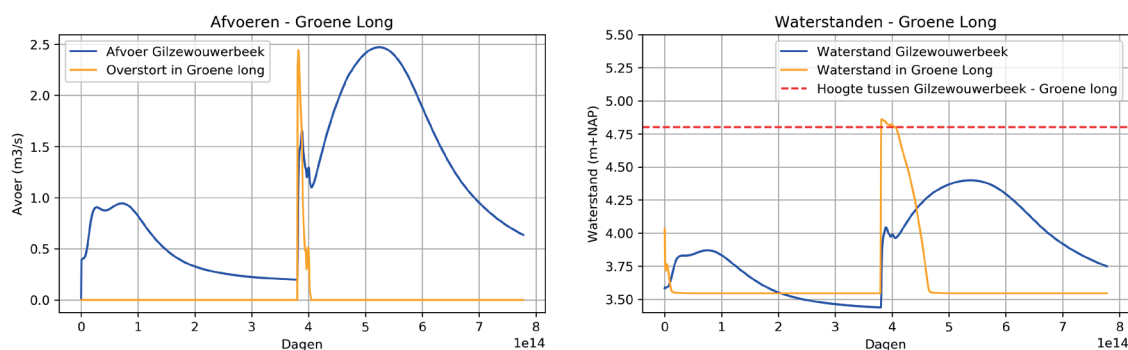
Omdat het regionale watersysteem hydrologisch gezien trager reageert dan het (verharde) stedelijke watersysteem hebben we onderscheid gemaakt in twee situaties:

- Lange duur neerslag *voorafgaand* aan korte duur piek;
- Lange duur neerslag *inclusief* de korte duur piek neerslag.

Uit deze analyse blijkt dat in de meeste gebeurtenissen de piekneerslag gedurende korte duur een onderdeel is van de extreme neerslaggebeurtenis van langere duur. Ook blijken er relatief weinig gebeurtenissen te zijn waarbij een groot neerslagvolume van korte duur wordt gevolgd door piekneerslag van korte duur.

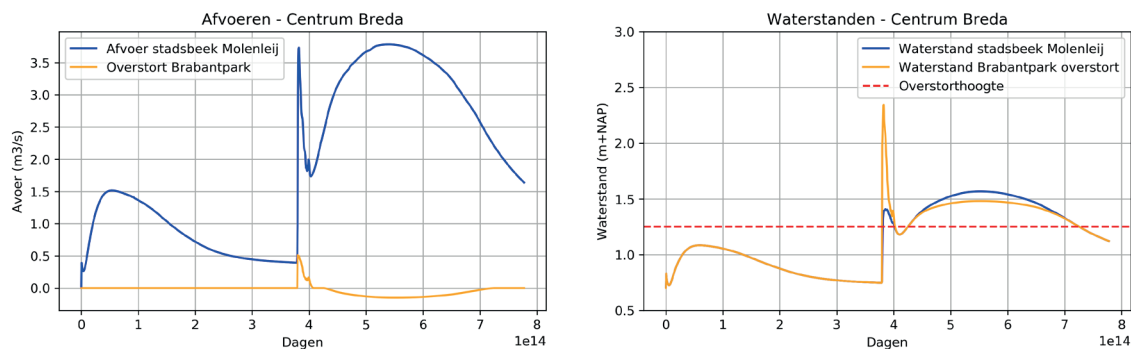
De wateroverlast, die optreedt als gevolg van extreme afvoer in de Molenleij, en neerslag in stedelijk gebied versterken elkaar als de neerslag in het landelijk gebied eerder valt dan in de stad. In Figuur 16 is de situatie weergegeven bij de Groene Long langs de Gilzewouwerbeek. Hierin zijn de waterstanden en afvoeren in de Gilzewouwerbeek en de Groene Long en overstorten (waarmee het water ook de Gilzewouwerbeek in kan stromen) gepresenteerd. Hierbij is gebruik gemaakt van het gecombineerde model en de neerslaggebeurtenis van +/- 23 mm in 10 min en +/- 55 mm in 3 dagen. Figuur 17 laat de situatie zien in de wijk Brabantpark in Breda, waar de stadsbeek Molenleij stroomt.

FIGUUR 16 EFFECT OP GROENE LONG



FIGUUR 17

EFFECT VOOR WIJK BRABANTPARK IN BREDA



Uit deze analyse volgt dat de interactie tussen het regionale en stedelijke watersysteem in dit gebied voor het eerder benoemde interessante bereik van terugkeertijden vrijwel niet aanwezig is, omdat:

- Er bijna geen neerslag valt voorafgaand aan een 10 minuten piek; de maximale waterstand in het stedelijke gebied wordt daardoor uitsluitend/hoofdzakelijk bepaald door korte, hevige neerslaggebeurtenissen in stedelijk gebied.
- Er een vertraging in het regionale watersysteem zit door het hydrologisch gedrag, waardoor de neerslag enkele dagen later pas leidt tot hoge waterstanden in de beek. Deze waterstanden zijn hoger dan de waterstanden die door piekafvoeren uit het stedelijk gebied worden veroorzaakt.

Risico's in het stedelijk en regionaal systeem kunnen voor Breda onafhankelijk van elkaar beschouwd worden. Dit houdt in dat beide systemen los van elkaar doorgerekend kunnen worden en de risico's bij elkaar opgeteld mogen worden. Hierbij maken we nog de volgende kanttekeningen:

- De onafhankelijkheid volgt uit de systeemanalyse voor specifiek het gebied rond Breda. Voor andere gebieden kan de vertraging in het systeem anders zijn en kan er meer interactie plaats vinden.
- Een maatregel in het ene systeem kan ook een risico reducerend effect hebben op het andere systeem. Op deze manier kunnen extra baten behaald worden in het integrale risico rond wateroverlast.

6.4.3 RESULTATEN

Het totale risico voor regionale en stedelijke wateroverlast samen is 60.1 k€/jaar (zonder bebouwing) of 78.6 k€/jaar inclusief bebouwing. Voor het stedelijk gebied zijn alleen berekeningen gemaakt voor het gebied Brabantpark (ook wel Centrum Breda genoemd in deze studie). In dit deelgebied zijn de risico's vanuit de verschillende watersystemen als volgt opgebouwd:

TABEL 11

RISICO VOOR HET DEELGEBIED BRABANTPARK VOOR DE HUIDIGE SITUATIE

Risico in k€/jaar	Deelgebied Breda
Stedelijk watersysteem	33.5
Regionaal watersysteem	29.0
Totaal	62.5

Voor dit stedelijke gebied (zie Tabel 12 voor verschillende gebeurtenissen) zonder bebouwing is het schaderisico als gevolg van piekbelastingen van het rioleringsstelsel bepaald op 15.5 k€/jaar. Dit risico wordt gedomineerd door de schadepost 'verkeerseiland'. Wat deze schadepost

precies inhoudt staat niet duidelijk in de documenten gerelateerd aan de Waterschadeschatter. Waarschijnlijk zal het gaan om een knooppunt van wegen. Zo komt de schade bij de T95, T151 en T368 gebeurtenissen voornamelijk van de schadepost 'verkeerseiland' a circa 300 k€. Binnen dit risico is nog geen rekening gehouden met de schade aan gebouwen. Als we schade aan gebouwen opnemen, dan stijgt het schaderisico tot 33.5 k€/jaar. Eerder is al opgemerkt dat de berekende schade als (zeer) hoog wordt ervaren in stedelijk gebied.

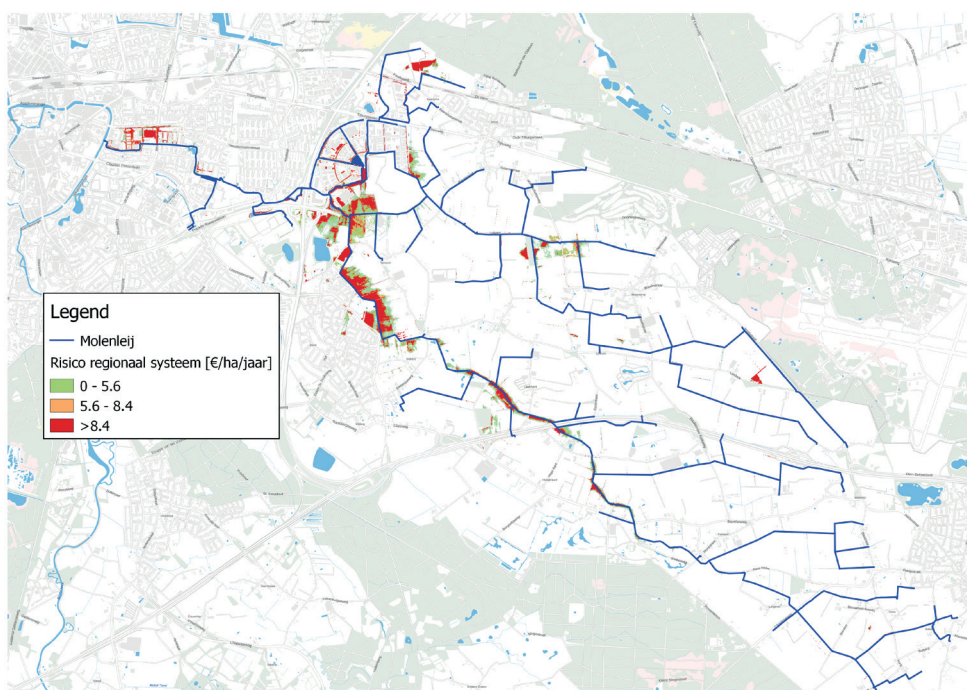
TABEL 12 SCHADE IN STEDELIJK GEBIED DOOR PIEKBUIEN. IN GRIJS DE SCHADES DIE WE NIET BESCHOUWEN VOOR HET RISICO

Bui	Herhalingstijd (op basis van het neerslagvolume in 30 min)	Schade zonder gebouwen [€k]	Schade gebouwen [€k]	Totaal [€k]
T2	2	0.9	212.6	213.5
T4	5	4.3	212.6	216.9
T10	10	46.2	226.2	272.4
T20	20	31.4	212.6	244.0
T24	25	28.8	212.6	241.4
T45	50	134.7	226.1	360.8
T95	100	298.5	584.0	882.5
T151	150	297.2	631.2	928.4
T368	300	319.1	1666.2	1985.1

Het totale risico in het stroomgebied van de Molenleij voor het regionale watersysteem is €45.1 k€/jaar. De risico's vanuit het regionale watersysteem zijn voor een aantal gebieden is verder opgedeeld (Figuur 18):

- Centrum Breda: 29 €/k/jaar (deze schade ontstaat pas bij gebeurtenissen met een terugkeertijd vanuit het regionale watersysteem kleiner dan 50 jaar)
- Evenementen terrein Bavelse berg: 11 k€/jaar
- Gebied langs Gilzewouwerbeek: 3 k€/jaar

FIGUUR 18 SCHADERISICO MOLENLEIJ UIT WATERSYSTEEM-ANALYSE. MET DAARBIJ OMCIRKELD: HET CENTRUM VAN BREDA (LINKS), EVENEMENTENTERREIN BAVELSE BERG (MIDDEN BOVEN) EN HET GEBIED LANGS DE GILZEWOUWERBEEK (MIDDEN ONDER)



Bij de berekening van de schade plaatsen we nog enkele kanttekeningen. De schade door stedelijk gebied wordt gedomineerd door schade aan bebouwing en het verkeerseiland. De vraag is of deze bijdragen terecht zijn. Daarnaast blijkt uit de schademodelering dat bij terugkeertijden van 2 – 45 jaar de schade aanzienlijk maar wel stabiel is. Omdat deze schade niet wordt herkend in de praktijk is die buiten beschouwing gelaten. Het roept echter wel vragen over de aansluiting van schematisaties van alle modellen en de schademodelering.

6.4.4 MAATREGELEN

In de studie is al geconstateerd op dat op basis van het huidige systeemgedrag de totale risico's kunnen worden bepaald door het los van elkaar beschouwen van het stedelijk en het regionale watersysteem. Het is echter wel denkbaar dat maatregelen die genomen worden in het regionaal watersysteem effect hebben in het stedelijk gebied. Andersom kunnen maatregelen in het stedelijke systeem invloed hebben op wateroverlast in het landelijk gebied. Hiervoor is een kwalitatieve verkenning gedaan. Hieronder worden de beschouwde maatregelen beschreven. In de bijlage zijn de beschouwingen van maatregelen uitgebreider toegelicht.

- Evenemententerrein Bavelse Berg: hierbij zijn maatregelen aan de ruimtelijke inrichting doorgerekend. Het risico vanuit het regionale watersysteem in dit gebied betreft circa 11k€/jaar. Omgerekend naar een Netto Contante Waarde is dit een bedrag van 220 k€ wat als het ware maximaal beschikbaar is om te investeren in ruimtelijke ordening om het risico weg te nemen.
- Retentievijver Groene Long: maatregelen om water sneller af te voeren en de toestroom van water vanuit het regionale watersysteem richting het rioolstelsel te voorkomen.
 - Het verlagen van de drempel tussen de retentievijver en de Gilzewouwerbeek kan de interactie verder verkleinen, door het stedelijk watersysteem sneller te laten afstromen.
 - Rond de Groene Long kan bij extreme afvoer via de beek water via de overstorten de Groene Long en stedelijk gebied inlopen. Ook is terugloop van het water in het rioolstelsel ongewenst vanuit de rioolzuiveringsbedrijven, vanwege verlies aan berging en verdunning van het rioolwater en daarmee het rendement van de zuivering. Dit kan worden voorkomen door het plaatsen van terugslagkleppen bij de overstorten. De kosten hiervoor worden relatief laag geschat, terwijl het risico (schade en de frequentie van wateroverlast) zal dalen en hiermee de baten stijgen. Vanuit deze optiek is het aanbrengen van deze terugslagkleppen een aantrekkelijke maatregel.
- Water vasthouden bovenstrooms in het stroomgebied Molenleij. Hierdoor daalt de maximale afvoer in pieksituaties wat invloed heeft op het gehele regionale watersysteem. De mogelijke interactie wordt ook verder verkleind, omdat het regionale watersysteem nog trager zal reageren dan het stedelijk watersysteem.
- Ruimtelijke inrichting in het Brabantpark (onverharde gebieden/wadi's). Hierdoor stroomt er minder water via het verharde oppervlak het riool in en infiltreert het via het onverharde oppervlak de grond in. Ondanks het feit dat de inrichtingsmaatregelen de extreme afvoerpieken in het rioolsysteem verlagen, moet men er zich wel bewust van zijn dat het water via het onverharde oppervlak trager via grondwaterstroming de beek bereikt. In het ergste geval kan het voorkomen dat deze inrichtingen het watersysteem dusdanig vertragen dat het extra bijdraagt aan het regionale watersysteem en het hier een rol gaat spelen.
- Aanleg kades en afsluiters in het Brabantpark. In dit gebied is het risico vanuit het stedelijk watersysteem geschat op circa 9 k€/jaar. Dit houdt in dat er 580 k€ beschikbaar is om het risico weg te nemen. Hiervoor kan mogelijk een kade aangelegd worden om te voorkomen dat het water de stad in stroomt. Daarbij kunnen ook afsluiters op de overstorten geplaatst worden, zodat het niet via het riool de stad instroomt.

Uit de beschouwing van de maatregelen blijkt de meerwaarde van een integrale benadering. Zo kunnen bij stedelijke ontwikkelingen de risico's worden gemitigeerd door anders te ontwikkelen. Ook blijkt het belang van een integrale systeemanalyse. Als alleen naar het effect van een maatregel wordt gekeken binnen de scope van het eigen watersysteem (bijvoorbeeld de stad of het landelijk gebied) kan het risico stijgen omdat het systeemgedrag verandert. Hierdoor kan bijvoorbeeld de kans op interactie tussen piekbuien en langdurige buien wel van belang worden.

6.5 BEVINDINGEN IN CASE BREDA

Uitvoerbaarheid. Het inzichtelijk maken van het risico op wateroverlast, inclusief het inzichtelijk maken van de mate waarin dit wordt veroorzaakt door het regionale of stedelijke watersysteem is mogelijk. Ook is gebleken dat er zicht is op welke factoren de schades bepalen en dat deze op betrouwbaarheid kunnen worden beoordeeld. Daarnaast is het mogelijk om de effecten van maatregelen te beoordelen aan de hand van de integrale risicoanalyse.

De terugkeertijd van de neerslag is niet altijd een goede indicatie voor de terugkeertijd van de impact (schade en waterstand). In de studie is geconstateerd dat de schade die optreedt afhankelijk is van het neerslagvolume, maar ook van het neerslagpatroon. Een extremer neerslagvolume in de stad kan door een ander neerslagpatroon binnen 30 minuten leiden tot minder schade. Aanbevolen wordt om dus rekening te houden met alle factoren die kunnen leiden tot wateroverlast, en de kans op wateroverlast centraal te zetten en niet de kans op een bepaalde terugkeertijd van de neerslag.

Samenhang stedelijk en regionaal watersysteem. Op basis van een gebiedsanalyse blijkt de correlatie tussen watersystemen en voor welke terugkeertijden deze relevant is. Voor de case Breda speelt de correlatie tussen het regionale en stedelijke watersysteem in de huidige situatie geen rol. Dit komt door verschil in hydrologisch gedrag. Indien er maatregelen worden genomen die het systeemgedrag beïnvloeden (zoals het vertragen van stedelijke afvoer of versnellen van afvoer uit de beken) kan deze correlatie wel van belang worden.

Kosteneffectiviteit/doelmatigheid. Er zijn geen nieuwe inzichten over de kosteneffectiviteit. Wel is aannemelijk gemaakt dat er ook in de ruimtelijke omgeving maatregelen genomen kunnen worden die het risico reduceren.

Schematisatie. Het is mogelijk gebleken om een gecombineerd model te maken van het regionale en stedelijke watersysteem. De rekentijd van dit model is wel fors. Voor de schademodelering in stedelijk gebied is de schematisatie van bebouwing van belang. Nu is aangenomen dat bebouwing in het hydrologisch model oneindig hoog is (en er geen water kan staan). Bij de schadebepaling is hiervoor een correctie uitgevoerd, die leidt tot onnauwkeurigheden.

6.6 REFLECTIE VOOR DE INTEGRALE RISICOANALYSE

Correlatie tussen stedelijk en landelijk gebied

Het kunnen vergelijken van de risico's uit verschillende watersystemen vereist dat de risico's, kansen en gevolgen onder dezelfde noemer worden gebracht. Vervolgens kan met een gebiedsanalyse het belang van de correlatie worden onderzocht. Voor deze case is met name de correlatie tussen neerslag in stedelijk gebied (korte duur) en landelijk gebied (lange duur) van belang in combinatie met de reactiesnelheid van het watersysteem.

Schademodeltering

De schade in de stedelijke omgeving is reeds eerder als erg onzeker ingeschat. Dit heeft zowel te maken met de hydrologische modellering en de vertaling naar waterstanden bij gebouwen als met schadefuncties.

De schadebepaling is uitgevoerd op basis van een nabewerking van modelresultaten op basis van generieke kentallen. Gezien de bijdrage van deze component aan het risico zijn deze aannames significant.

De terugkeertijd van een neerslagvolume is niet gelijk aan de terugkeertijd van een waterstand

Een gebeurtenis bestaat uit een combinatie van allerlei factoren. De terugkeertijd van een neerslagvolume is niet gelijk aan de terugkeertijden van waterstanden. In deze studie blijkt dat ook het neerslagpatroon van belang is. Per gebied is het dus van belang om na te gaan welk aspect van de neerslaggebeurtenis bepalend is voor de frequentie van waterstanden.

7

SYNTHESE TOEPASSING VAN DE INTEGRALE RISICOANALYSE

Op basis van de toepassing van de integrale risicoanalyse is een synthese opgesteld.

7.1 ALGEMENE BEVINDINGEN

Op basis van de cases kan het volgende worden geconcludeerd:

- Het uitvoeren van een integrale risicoanalyse is mogelijk. In alle cases is het mogelijk gebleken om op een integrale manier naar de risico's te kijken, de samenhang tussen de verschillende onderdelen van het watersysteem in kaart te brengen en maatregelen te evalueren. Deze analyses zijn uitgevoerd op basis van beschikbare informatie. Middels aanvullende modelanalyse kan de risicoanalyse nog worden verbeterd.
- Het beslisprobleem dat voorligt (bijvoorbeeld de selectie van een maatregel om te voldoen aan benoemde knelpunten die volgen uit normen, of op basis van de integrale risico's de normen afleiden) is sterk van invloed op de scope van de risicoanalyse zelf. Deze scope bepaalt de range aan gebeurtenissen die van belang zijn, en hiermee of een watersysteem wel of niet wordt meegenomen. Om deze afbakening te kunnen maken en te bepalen welke gebeurtenissen effect hebben is wel een integrale gebiedsanalyse noodzakelijk.
- Een integrale risicoanalyse kan in sommige situaties leiden tot een meer doelmatige (kosteneffectieve) aanpak dan de sectorale benadering, waarin ieder watersysteem afzonderlijk wordt bekeken. In een integrale risicoanalyse kunnen de maatschappelijke kosten en baten worden geoptimaliseerd. Kosten en baten zijn soms onevenredig verdeeld over de stakeholders. Daarnaast kan het noodzakelijk zijn om de investeringen nu te plegen waarbij de baten veel diffuser zichtbaar zijn over een veel langere tijdsperiode.

Een meer doelmatige aanpak vergt wel meer samenhang en samenspel tussen de stakeholders die de verschillende watersystemen, de ruimtelijke inrichting en de crisisbeheersing behartigen. Daar waar in de sectorale aanpak het 'acceptabel risico' wordt gerealiseerd binnen één watersysteem of sector wordt bij de integrale risicoanalyse de bijdrage van deze actoren meegenomen. Dan dekt het totaal van deze onderdelen het acceptabel risico af.

- De integrale risicoanalyse geeft inzicht in het belang van samenhang tussen watersystemen. Het geeft weer of de correlatie tussen twee watersystemen wel of niet van belang is voor de scope van de opgaven in een gebied. In de huidige uitwerking van de studie is de neerslag (het volume en het patroon) de dominante factor (of stochast) voor waterbezwaar

in de stedelijke omgeving, voor het regionale watersysteem en voor regionale waterkeringen in combinatie met een begintoestand en het hydrologisch van het watersysteem. In de uitwerking van de cases is ook geconstateerd dat veel gebeurtenissen van bijna falen bij regionale waterkeringen niet samenvielen met periodes van wateroverlast. Verder is het maaibeeld van invloed op de afvoercapaciteit van het regionale watersysteem. Ook heeft overlast in het stedelijk gebied vaak te maken met verstoppingen (en dus beheer en onderhoud). In de huidige analyses gaan we er vanuit dat het systeem 'op orde' is. Afwijkingen hiervan hebben mogelijk aanzienlijke invloed op het risico. Het verdient aanbeveling om dat nader uit te zoeken.

- De integrale risicoanalyse geeft de mogelijkheid om naast de bijdrage van het watersysteem ook de bijdrage aan het risico van de ruimtelijke omgeving en crisisbeheersing expliciet te maken. Als er ontwerpbeelden zijn voor de acceptatie van waterbezwaar kunnen zo naast het watersysteem ook de ruimtelijke omgeving en de crisisbeheersing worden 'ontworpen'.
- Het toepassen van een integrale risicoanalyse is niet voor ieder beslisprobleem de oplossing. Het is denkbaar dat verschillende problemen sectoraal worden opgepakt of slechts met enkele componenten. Het is echter wel wenselijk en aan te bevelen dat de overkoepelende ontwerpfilosofie (of normering) op elkaar is afgestemd.

Hiermee is ook het schaalniveau waarop de analyse wordt uitgevoerd van belang. Het schaalniveau wordt in eerste instantie bepaald door de factoren die van invloed zijn op het risico (de kansen en de gevolgen). Het schaalniveau zal zodanig moeten zijn dat het deze oorzaken omvat.

De terugkeertijd van neerslaggebeurtenissen kan niet direct worden vertaald naar de terugkeertijd van waterstanden en/of schades. Met andere woorden de bui van 1/100 of 1/1.000 per jaar leidt niet vanzelfsprekend tot 1/100 of de 1/1.000 per jaar waterstanden. Het patroon van de neerslag, maar ook andere factoren zoals de berging in de bodem, beheer en onderhoud etc., kunnen invloed hebben. Het is van belang om zowel voor de stedelijke als de regionale watersystemen om alle factoren meet te nemen in een (statistische) analyse en niet alleen te focussen op de terugkeertijd van neerslaghoeveelheden.

7.2 AANBEVELINGEN

Daarnaast zijn er een aantal inhoudelijke aanbevelingen opgesteld:

KANSSEN, GEBEURTENISSEN EN RISICO'S ONDER DEZELFDE NOEMER BRENGEN

De integrale risicoanalyse vereist dat risico's onder dezelfde noemer worden uitgewerkt. In de huidige aanpak worden kansen en gevolgen nog verschillend geïnterpreteerd. In de integrale risicoanalyse gaat het om de daadwerkelijke faalkans (de kans van optreden). Dat vergt soms nog een vertaling, waarbij rekening moet worden gehouden met vertaling van punt- naar gebiedsneerslag, overschrijdingskans naar faalkans, reststerkte, systeemwerking en beheermaatregelen. Ook voor de gevolgen is het van belang deze op een eenduidige (aannemelijke) manier uit te werken. Dat betekent dat het niet gaat om de worst-case-situatie, maar om de verwachte gevolgen. Zo is bij de uitwerking van risico's van doorbraken van primaire waterkeringen rekening gehouden met een verwachte effectiviteit van evacuatie. Voor regionale keringen wordt er echter geen rekening gehouden met beheermaatregelen, terwijl die in de

praktijk wel genomen worden. Een meer realistische inschatting van deze maatregelen kan voor regionale waterkeringen al leiden tot een reductie van twee normklassen.

AFSTEMMEN SCHEMATISATIES

Een integrale risicoanalyse, net als iedere risicoanalyse, vereist dat alle stappen en schematisaties op elkaar zijn afgestemd. Onder een schematisatie verstaan we hierbij de vertaling van basisinformatie naar een model, passend bij het beslisprobleem.

Zo is het van belang om voldoende gebeurtenissen te definiëren. Per gebeurtenis is het toekennen van een kans en een gevolg (het waterbezwaar) noodzakelijk. De effecten (schade) worden bepaald op basis van het waterbezwaar. De ruimtelijke schaal van alle (water-, schade-, en kosten-) modellen zal wat betreft gegevens op elkaar afgestemd moeten worden. Het beslisprobleem is leidend, met de bijbehorende schematisatie, waarbij basisgegevens worden vertaald naar een model. In de toepassingen van de beschikbare gegevens in de integrale risicoanalyse zien we hier tal van knelpunten ontstaan, waardoor de onzekerheid in de berekende risico's toeneemt.

We bevelen aan om voorafgaand aan de uitvoering van de integrale risicoanalyse na te gaan of de verschillende schematisaties van de modellen op elkaar zijn afgestemd. Hierbij is meer detail niet altijd noodzakelijk voor beantwoorden van het beslisprobleem.

VERBETEREN SCHADEMODELLERING

Een belangrijk verbeterpunt is het verbeteren van de schademodelering. De schademodelering is in de huidige uitwerking van de integrale risicoanalyse als een groot knelpunt ervaren, zowel voor het stedelijk als het regionale watersysteem. Met name in het stedelijke watersysteem zijn er aanwijzingen dat de schades enkele factoren (10-100) worden overschat. Deels kunnen deze schades worden verklaard door mismatches in het AHN, het watermodel en de schadekaarten. Echter een belangrijke verklaring vormen ook de schade-functies zelf.

Indien een integrale risicoanalyse wordt uitgevoerd, dan is het van belang om alle schadecomponenten mee te nemen, ook als deze niet voor rekening van een van de stakeholders komen. Schadecomponenten die nu missen zijn:

- Gewasschade (opbrengstdepressie) als gevolg van hoge grondwaterstanden. Tijdens de extreme regenval van 1998 was deze gewasschade veruit dominant voor de onderbouwing van de uitgekeerde schade via de WTS.
- Schade aan boezemsystemen na waterstandsdaling. Hiervoor zijn in de case van Rijnland zeer grove kentallen gebruikt. Echter de omvang van deze schades is zodanig dat nadere detaillering aanbevolen wordt.

OVERKOEPELENDE RISICONORM?

Tenslotte wordt geconcludeerd dat de integrale risicoanalyse een verborgen potentieel heeft. Aanbevolen wordt het potentieel hiervan te verkennen. Met de huidige aandacht voor ruimtelijke adaptatie en klimaatverandering kan gesteld worden dat de huidige ontwerpfilosofie niet meer voldoet. Dat is een belangrijke constatering, omdat we weten dat de huidige normen voor regionale wateroverlast strenger zijn dan het economisch optimum uit een MKBA en dat de risico's van doorbraken van regionale keringen lager zijn dan nu vaak gepresenteerd.

De acceptatie van waterbezwaar staat nu veel meer centraal in de publieke opinie dan de eisen aan verschillende watersystemen. Indien er een acceptabel risico (gebaseerd op schade risico maar ook op maatschappelijke impact) als 'norm' of 'ontwerpcriterium' wordt gehanteerd kan op basis van de integrale risicoanalyse een mix aan eisen worden bepaald voor de verschillende watersystemen, de ruimtelijke omgeving en de crisisbeheersing. Hiermee kan dus veel meer ontwerpend worden gekeken en kan rekening worden gehouden met gebiedskenmerken. Hierbij kunnen de huidige normstellingen dus worden losgelaten en worden vervangen door een risico op waterbezwaar. Het ligt voor de hand om primaire keringen hierbij buiten beschouwing te laten gezien de aard van dit risico (slachtoffers, omvang).

8

REFERENTIES

DE INGENIEUR 2018

Simpele hoosbui-stresstest gebaseerd op slecht model. 12 februari 2018.

RIJKSWATERSTAAT 2019

LIWO www.basisinformatie-overstromingen.nl. Bezocht op 28 mei 2019.

STOWA 2018

Nieuwe neerslagstatistieken voor korte tijdsduren. HKV en KNMI in opdracht van STOWA.

STOWA 2019

Neerslagstatistiek en -reeksen voor het waterbeheer 2019. HKV en KNMI in opdracht van STOWA

TEN VELDHUIS 2010

Title Quantitative risk analysis of urban flooding in lowland areas. PhD Thesis TU Delft.

SWECO 2018

Infoworks model stad Woerden.

HYDROLOGIC, 2016

Toelichting Quicksan Rijnland. Rapportage Hydrologic P869.

NELEN & SCHUURMANS, 2017

Onderzoek noodwaterkeringen Rijnland. Nelen&Schuurmans dossier S0093.

SLAGER K, 2018

Overstromingsrisico's door intense neerslag. Ten behoeve van de voorlopige risicobeoordeling in het kader van EU-Richtlijn Overstromingsrisico's. Deltares rapport 11202192-007-ZWS-0002 in opdracht van Rijkswaterstaat WVL.

SPEKKERS 2015

On rainstorm damage to building structure and content. PhD thesis TUDelft.

HKV EN HYDROLOGIC 2019

Afleiden Hydraulische randvoorwaarden Toetsing regionale waterkeringen HDSR 2012-2024.

CITY DEAL 2018

Watterrisico's bij ruimtelijke ontwikkelingen en assets: Risico's afwegen met watterrisico-profielen en watterrisicodiagrammen. Bas Kolen (HKV), Nick van Barneveld (Rotterdam), Rob Koeze (Waternet), Marijke Ruitenbeek (Tauw) in samenwerking met de City Deal partners.

WITTEVEEN EN BOS 2018

Actualisatie NBW-toetsing op wateroverlast. 2018.

GEMEENTE BREDA

SOBEK model Riolering

BEREKENDE WATERSTANDEN OP MAAIVELD (INFOWORKS ICM)

BIJLAGE A

CASE WOERDEN

A.1 SCOPE EN SYSTEEMBESCHRIJVING

De volgende factoren zijn voor Woerden van invloed op het integrale risico:

- Extreme neerslag in stedelijk gebied (piekbuien);
- Inundatieschade in polders door langdurige neerslag;
- Doorbraken van regionale waterkeringen;
- Doorbraken van primaire waterkeringen.

In deze case richten we ons op de interactie tussen het stedelijk water in Woerden met het omliggende polder-boezemsysteem.

A.1.1 DE TECHNISCHE WERKING VAN HET WATERSYSTEEM

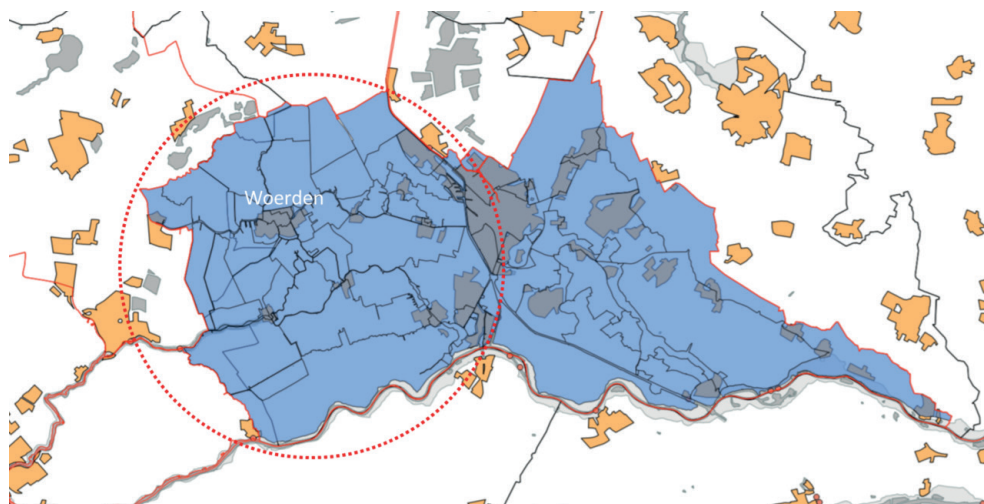
De huidige hoogtes van de overstorten in de stad Woerden zijn ontworpen op basis van het maalstopniveau van de boezem (de Oude Rijn). Door deze maalstops, waarbij de poldergemalen, die lozen op de Oude Rijn, worden stopgezet, wordt de waterstand op de Oude Rijn beheerst. Hierdoor is het vrijwel uitgesloten dat de overstort uit stedelijk gebied wordt geblokkeerd door te hoge buitenwaterstanden.

In Figuur 19 is een overzicht opgenomen van het projectgebied. Op de Oude Rijn lozen meerdere polders. Voor deze polders is een getrappt maalstopstelsel uitgewerkt. De Oude Rijn loost zelf op de boezem van Rijnland. De (on)mogelijkheden om water te lozen naar Rijnland kunnen leiden tot verhoogde waterstanden in het gebied. Verder is er nog de mogelijkheid om water enigszins te sturen richting de Gekanaliseerde Hollandse IJssel.

Doorbraken van primaire en regionale waterkeringen kunnen ook leiden tot waterbezwaar. Voor regionale waterkeringen zijn de normen vastgelegd in een provinciale verordening. Deze normen zijn uitgedrukt in een overschrijdingskans van de waterstand. Opgemerkt wordt dat de daadwerkelijke overstromingskans van deze keringen in de praktijk kleiner is dan de overschrijdingskans van de waterstand. Ook doorbraken van primaire keringen kunnen leiden tot overstromen van dit gebied.

FIGUUR 19

WATERSYSTEEM WOERDEN



A.1.2 BETROKKEN STAKEHOLDERS

In deze casestudie onderscheiden we de volgende stakeholders:

- De gemeente Woerden, waarbij we onderscheid maken in:
 - De gemeente als waterbeheerder, waarbij er eisen worden gesteld aan de riolering en het stedelijke watersysteem.
 - De gemeente als ruimtelijk ontwikkelaar, waarbij er eisen worden gesteld aan de inrichting van de buitenruimte en objecten.
- Het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR), waarbij we onderscheid maken in:
 - Het waterschap als watersysteembeheerder, waarbij er eisen worden gesteld aan het regionale watersysteem in polders bij extreme neerslag. Dit kan leiden tot andere eisen aan het watersysteem in een polder (minder streng veelal) en een ander schadepatroon.
 - Het waterschap als keringbeheerder, waarbij er eisen worden gesteld aan regionale waterkeringen en schades aan het boezemland.

Indirect zijn door de mogelijke effecten van een ander maastopregime ook alle andere grondgebruikers in het polder-boezemsysteem van de Oude Rijn een stakeholder omdat deze met andere waterstanden kunnen worden geconfronteerd. Ook eigenaren of gebruikers van objecten in Woerden zijn een indirecte stakeholder omdat deze ook zelf maatregelen kunnen nemen. Deze indirecte stakeholders zijn vooralsnog buiten beschouwing gelaten.

FIGUUR 20

FACETTEN INTEGRALE RISICOANALYSE IN CASE WOERDEN

	Stedelijk	Regionaal water-systeem	Regionale keringen	Primaire keringen
Watersysteem	✓	✓	✓	
Openbare ruimte	✓	✓	✓	
Crisisbeheersing				

A.1.3 REFERENTIESITUATIE EN MAATREGELEN

De referentiesituatie is gelijk aan de huidige situatie. De overstorten van het stedelijk gebied zijn zo aangelegd, dat de hoogte boven het maalstoppeil ligt. De maalstoppeilen zijn per poldergemaal ingesteld voor verschillende criteria en zijn gekoppeld aan de waterstand op de boezem. De afvoermogelijkheden van de boezem naar Rijnland zijn niet onbeperkt; deze zijn afhankelijk van de waterstand (en wind) benedenstrooms bij Bodegraven.

Als maatregel is onderzocht wat het effect is als het maalstopniveau met 20 cm wordt verhoogd (voor alle gemalen die lozen op de Oude Rijn). Dit leidt tot:

- In sommige situaties een verdronken overstort uit stedelijk gebied (deze hoogtes worden niet aangepast).
- Versterkingen (+20cm) van regionale waterkeringen (schade aan het boezemland is niet meegenomen omdat er nauwelijks sprake van is)
- Een daling van de frequentie en duur van maalstops waardoor de schade in deze polders door inundatie afneemt. Ook kan de gewasschade afnemen door de lagere grondwaterstanden in situaties waarbij er nog geen inundatie is.

A.2 METHODIEK EN BASISINFORMATIE

De integrale risicoanalyse wordt gekeken naar verschillende elementen in de beschouwde watersystemen. Hiervoor hebben we gebruik gemaakt van bestaande studies en modellen. Deze zijn in dit hoofdstuk toegelicht.

A.2.1 BELASTINGEN EN RANDVOORWAARDEN

STEDELIJK GEBIED

Voor het stedelijk gebied is gebruik gemaakt van reeds bestaande simulaties, die gemaakt zijn in opdracht van de gemeente Woerden (Sweco 2018). In deze simulaties is onderscheid gemaakt in een belasting van 20, 40, 60 en 80 mm neerslag, die valt in een uur. Bij een neerslaggebeurtenis van 20 mm is het de verwachting dat de overstort ingezet zal worden.

De kans op deze volumina water is bepaald aan de hand van de STOWA neerslagstatistieken voor korte duur (STOWA 2018). De overschrijdingsfrequentie van deze neerslaggebeurtenissen is weergegeven in Tabel 13.

TABEL 13 NEERSLAGBELASTINGEN EN TERUGKEERTIJDEN STEDELIJK GEBIED WOERDEN

Neerslag	Overschrijdingsfrequentie	Terugkeertijd
20 mm	4.7E-01 per jaar	2 jaar
40 mm	3.6E-02 per jaar	28 jaar
60 mm	8.1E-03 per jaar	124 jaar
80 mm	2.9E-03 per jaar	345 jaar

REGIONAAL WATERSYSTEEM

Voor het bepalen van waterstandstatistieken in het polder-boezemsysteem van de Oude Rijn is gebruik gemaakt van de resultaten van de studie “Afleiden Hydraulische randvoorwaarden Toetsing regionale waterkeringen HDSR 2012-2024” (HKV en Hydrologic 2019). In deze studie zijn waterstandstatistieken bepaald op basis van verschillende stochasten als het neerslagvolume en -patroon, de spuimogelijkheden van de boezem (op basis van de wind) en de berging in de bodem. De neerslagstatistiek is gebaseerd op de STOWA-neerslagstatistieken maar dan voor langere duur (STOWA 2016). In totaal zijn er 9000 negendaagse neerslaggebeurtenissen

doorgerekend waarmee de optredende waterstanden zijn bepaald. Op basis van deze gebeurtenissen zijn acht gebeurtenissen geselecteerd om een representatieve inschatting te maken van de frequenties van hoge waterstanden, schades en het risico voor extreme neerslag in de polders. Het model (in combinatie met het schademodel) is niet representatief voor lagere herhalingstijden.

TABEL 14 OVERZICHT GESELECTEERDE NEERSLAGGEBEURTENISSEN VOOR HET REGIONALE WATERSYSTEEM

Terugkeertijd	Overschrijdings-frequentie	Volume neerslag (mm)	Wind-snelheid (m/s)	Windrichting	Neerslagpatroon	Startsituatie bodem
30	3.3E-02	140	30	315	Lang	winter
40	2.5E-02	140	30	180	Laag	winter
50	2.0E-02	140	20	202.5	Laag	winter
100	1.0E-02	160	25	202.5	Laag	winter
300	3.3E-03	160	30	202.5	Kort	winter
500	2.0E-03	180	20	202.5	Laag	winter
1000	1.0E-03	180	30	270	Laag	winter

PRIMAIR EN REGIONAAL WATERSYSTEEM

Voor de primaire en regionale waterkeringen verandert het risico niet (immers de kans en het gevolg veranderen niet door de maatregel). Om het risico te schatten is gebruik gemaakt van bestaande informatie. Voor de regionale waterkeringen zijn we uitgegaan van een overstromingskans die een factor 5 kleiner is dan de overschrijdingskans van de waterstand bij de norm. Daarnaast zijn we uitgegaan van een gemiddelde norm van 1/100 pj voor alle waterkeringen in de Oude Rijn. De gevolgen zijn gebaseerd op de risicokaart en LIWO.

Voor de primaire keringen is gebruik gemaakt van de informatie uit het Deltaprogramma. Er is rekening gehouden met de faalkans van waterkeringen, de opgestelde overstromingssimulaties (en de hierbij horende belastingcombinaties van de situatie op de rivier).

A.2.2 CORRELATIES

Er bestaan twee correlaties die relevant zijn voor het onderzoek:

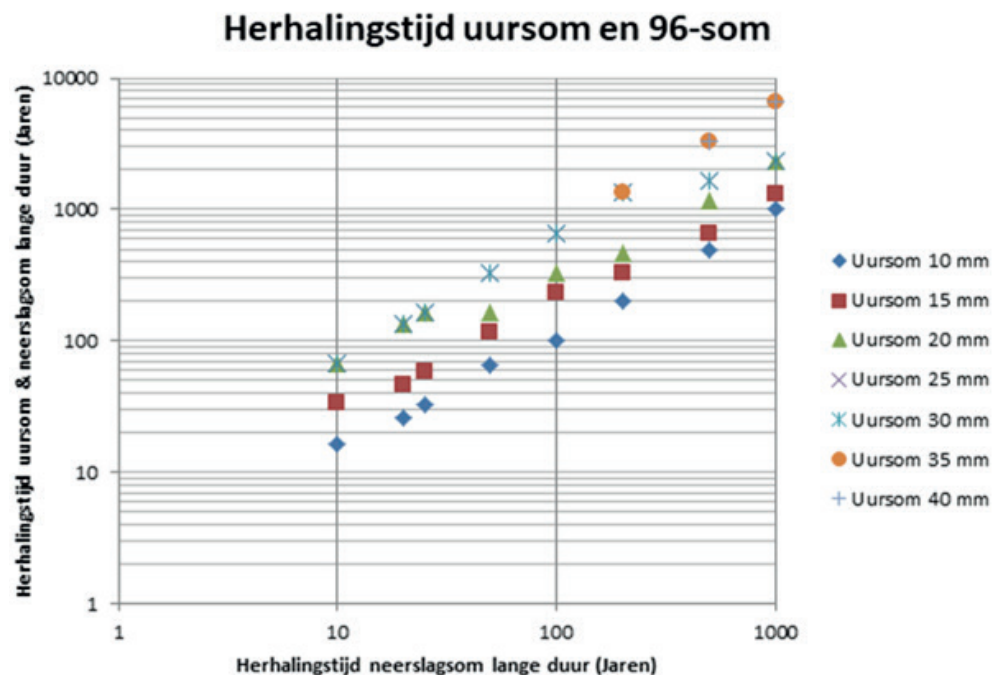
- De maalstop waarbij de poldergemalen die lozen op de boezem worden stilgezet als te hoge waterstanden op de boezem optreden.
- De overstort uit Woerden die verdronken kan raken bij hoge waterstanden op de boezem.

De werking van de maalstop is onderdeel van het model waarmee het regionale (polder-boezem) systeem wordt beschreven. De correlatie rondom de overstort wordt apart uitgewerkt door onderscheid te maken in situaties met en zonder verdronken overlaat.

In Figuur 21 is de correlatie opgenomen tussen een neerslagsom van lange duur (in dit geval 4 dagen) en een bepaald volume neerslag in een uur. Deze correlatie is bepaald op basis van de neerslagpatronen en statistieken uit het meest recente STOWA onderzoek (STOWA 2016 en 2018). Uit deze figuur blijkt dat de kans op samenvallen van aanzienlijke neerslaghoeveelheden in beide systemen klein is. Zo is de combinatie van een neerslaghoeveel van 4 dagen (afzonderlijk een terugkeertijd van 10 jaar) in combinatie met een neerslag van 20 mm in een uur (afzonderlijk een terugkeertijd van 2 jaar) een gebeurtenis die een terugkeertijd van ongeveer 70 jaar heeft. De combinatie van een volume vierdaagse neerslag met een terugkeertijd van 25 jaar in combinatie met 20 mm in een uur is een gebeurtenis met een terugkeertijd van 167 jaar.

FIGUUR 21

CORRELATIE BUI VAN KORTE DUUR EN BUI VAN LANGE DUUR



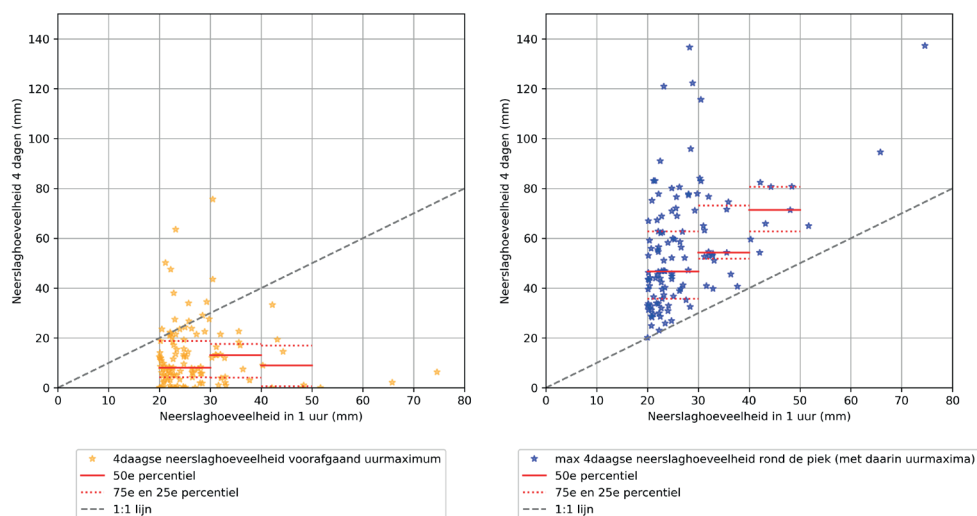
Als kanttekening bij bovenstaande analyses kan gezet worden dat de patronen vooral zijn gericht op langere durren. Kortdurende patronen (van een uur of minder) zijn niet beschouwd. Daarom is een extra analyse gedaan op basis van 10 minuten waarnemingen van neerslagmetingen. Door het combineren van waarnemingen van verschillende stations (poolen) is een langjarige reeks samengesteld van 258 jaar. Op basis van deze reeks is onderzocht:

- Hoe vaak langdurige neerslag voorkomt voorafgaand aan een piekbui van 20 mm in een uur (immers het regionale watersysteem reageert trager dan het stedelijke watersysteem).
- Hoe vaak piekneerslag en langdurige neerslag samenvallen.

FIGUUR 22

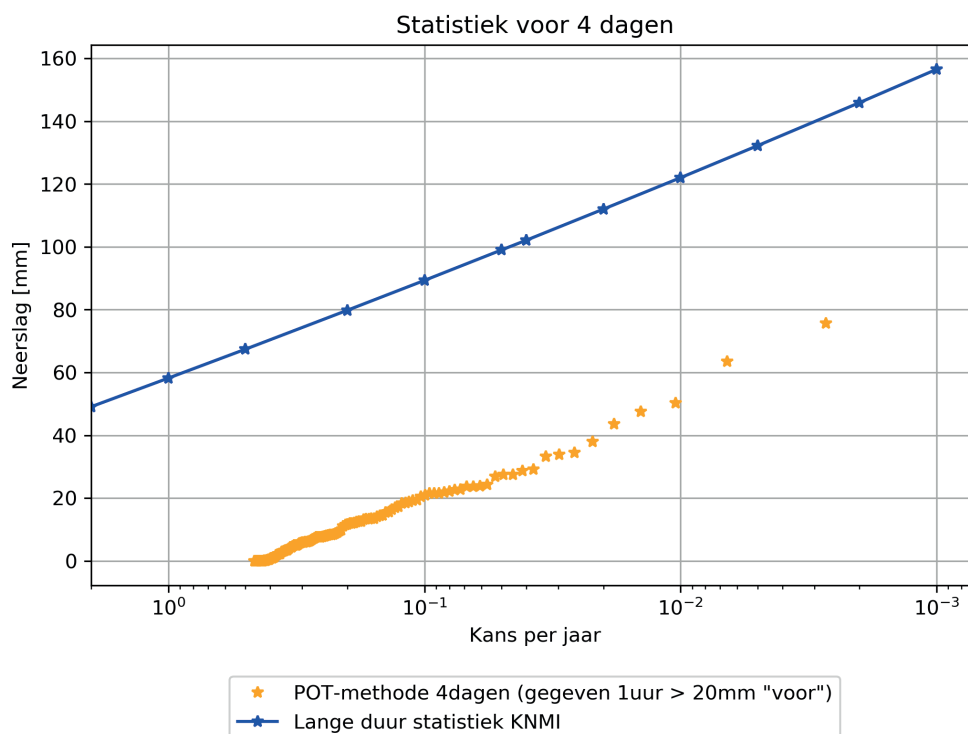
CORRELATIE BUI VAN KORTE DUUR EN BUI VAN LANGE DUUR OP BASIS VAN 258 JARIGE 10 MIN REEKS

Samenvallen van 1 uur neerslag en 4daagse neerslaghoeveelheid



FIGUUR 23

KANS OP SAMENVALLEN EXTREME GEBIEDSNEERSLAG 4 DAGEN VOOR EEN PIEKNEERSLAG IN 1 UUR VAN MEER DAN 20MM



Uit deze analyse in Figuur 22 en Figuur 23 blijkt dat de correlatie tussen een hoge piekneerslag in korte tijd in combinatie met veel gebiedsneerslag in de periode ervoor uiterst klein is en pas effect zal hebben op situaties die veel extremer is dan de normeringen en ontwerprijchlijnen. Er is wel een duidelijke correlatie tussen veel piek- en gebiedsneerslag. Echter deze correlatie wordt met name bepaald door de gebiedsneerslag zelf. In een polder-boezemsysteem zal dat alleen in zeer uitzonderlijke situaties leiden tot samenvallen van hoge boezemwaterstanden en inzetten van overstorten, omdat het stedelijk watersysteem veel sneller reageert.

Om toch een beeld te vormen van de mogelijke correlatie is onderzocht wat het effect is als er 10 en 30% procent kans is op hoge buitenwaterstanden op de Oude Rijn in combinatie met een piekbui in de stad.

STEDELIJK WATERSYSTEEM

De gevolgen van de wateroverlast in het stedelijk gebied zijn bepaald met een Infoworks-model wat is toegeleverd door de gemeente Woerden. Dit model beschrijft de wateroverlast, exclusief de wateroverlast bij gebouwen. Door de wijze van modelleren kunnen deze gebouwen niet overstroomd. Hiervoor is een nabewerking noodzakelijk.

REGIONALE WATEROVERLAST

Met behulp van het SOBEK 1D-FLOW model dat volgde uit het project “Afleiden Hydraulische randvoorwaarden Toetsing regionale waterkeringen HDSR 2012-2024” hebben we de piekwaterstand bepaald voor de gebeurtenissen zoals beschreven in Tabel 14. De neerslag is via een SIMGRO-model omgezet van afvoeren die als lateralen zijn opgelegd aan iedere polder. Op basis van de 1D uitvoerlocaties is op basis van AHN3 en de peilgebiedenkaart een vertaling gemaakt naar een vlakdekkende overstromingsdiepte.

A.2.3 EFFECTEN

STEDELIJK WATERSYSTEEM

De schade is berekend met de Waterschadeschatter. Voor deze berekeningen voor het stedelijke watersysteem is gerekend met de volgende invoer

- Duur overlast: 2 uur;
- Hersteltijd wegen: 0 uur;
- Hersteltijd bebouwing: 0 uur.

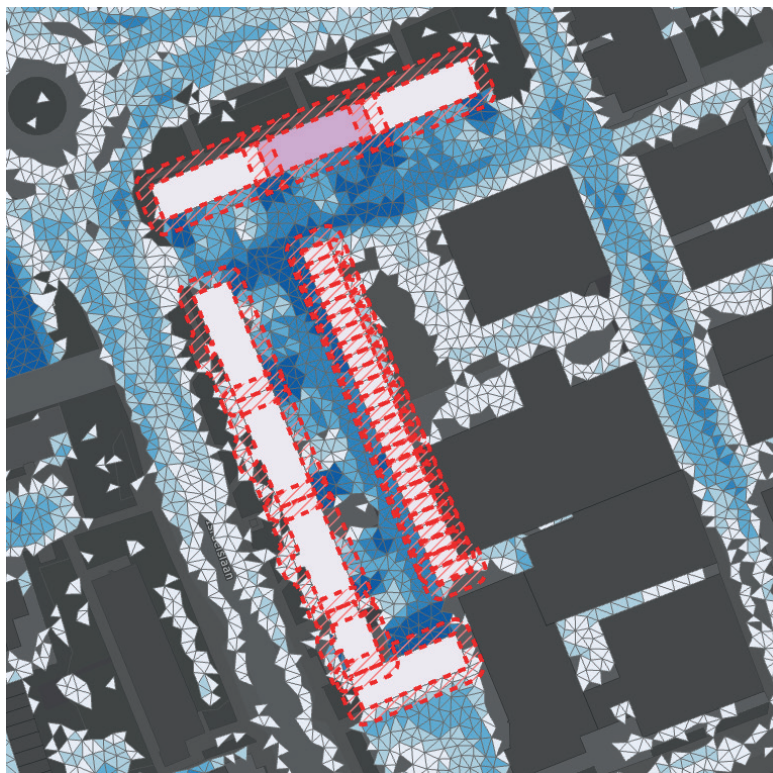
Correctie voor schade aan bebouwing

In het model van het stedelijk gebied kan het water niet in gebouwen komen te staan. Deze gebouwen zijn als grens opgenomen in het model.

De Waterschadeschatter berekent de schade als gevolg van de optredende waterdiepte per oppervlakte-eenheid, waardoor de berekende waterdieptes in het overstromingsmodel per definitie niet leiden tot schade in gebouwen. Hiervoor is een pragmatische methode toegepast om toch een schatting te maken van de schade in gebouwen vergelijkbaar met de methode gehanteerd voor de EU ROR (Slager, 2018). In deze methode schatten we de waterdieptes binnen gebouwen o.b.v. waterdieptes rondom een gebouw. Binnen een straal van 3m om een gebouw heen, wordt bepaald of meer dan 10% van het oppervlak bestaat uit water en er gemiddeld meer dan 15 cm om het gehele gebouw staat. Op basis van de natte cellen wordt een gemiddelde waterdiepte bepaald, die dan wordt toegekend aan de cellen in het gebouw, omdat we aannemen dat dan het gehele (gelijkvloerse) gebouw is overstroomd. Dit leidt tot een toeslag op de schade die is bepaald met de Waterschadeschatter.

FIGUUR 24

VOORBEELD VAN DE PRAGMATISCHE METHODIEK OM WATERDIEPTES IN DE GEBOUWEN TE BEPALEN. DE BLAUWE CELLEN ZIJN WATERDIEPTES BIJ EEN 60MM BUI. HET RODE OPPERVLAKE IS RESULTAAT VAN DE 3 METER BUFFER WAARBIJ TENMINSTE 10 PROCENT WATEROPPENVLAKE IS EN MEER DAN 15 CENTIMETER WATER STAAT



REGIONALE WATEROVERLAST

De schade in het regionale watersysteem is bepaald aan de hand van de volgende invoerparameters:

- Duur overlast: 48 uur;
- Hersteltijd wegen: 0 uur;
- Hersteltijd bebouwing: 0 uur;
- Maand gebeurtenis: oktober;
- Schadetabel: standaard.

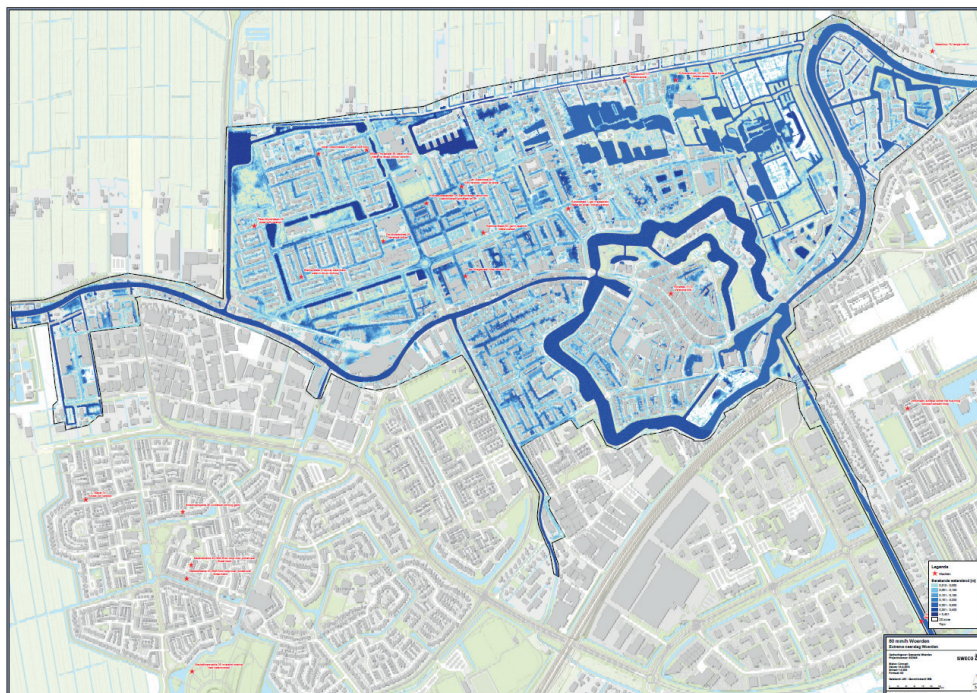
A.3 INTEGRALE RISICOANALYSE

A.3.1 WATERBEELDEN

STEDELIJK WATERSYSTEEM

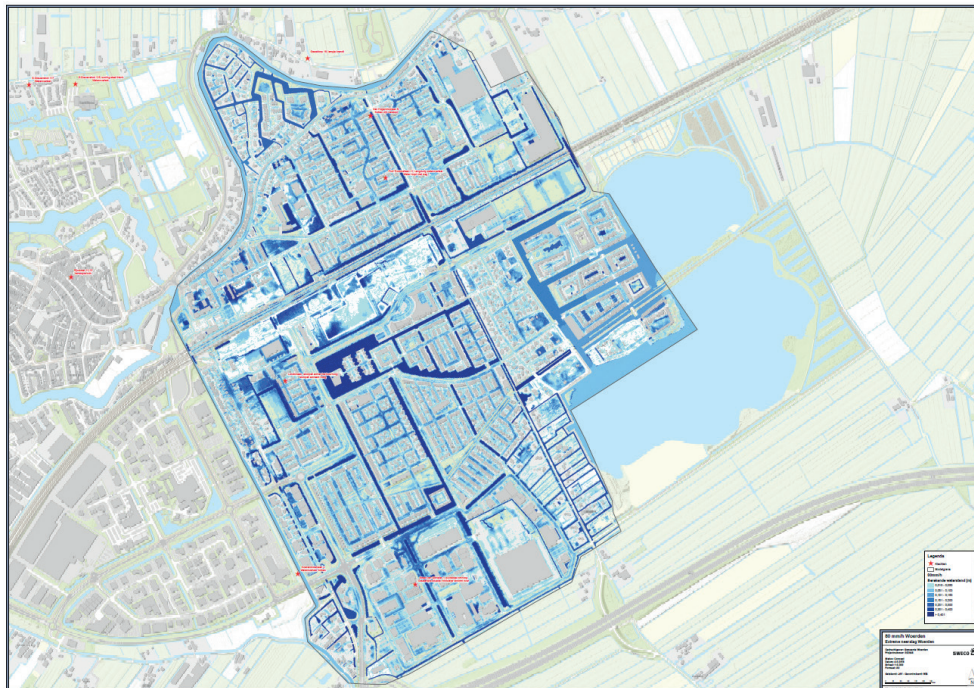
In Figuur 25 en Figuur 26 geven we een indruk hoe de waterbeelden in de stad eruit zien bij een piekbui van 80 mm in een uur voor de huidige situatie.

FIGUUR 25 WATEROVERLAST IN WIJK CENTRUM EN SCHILDERSKWARTIER IN WOERDEN BIJ 80 MM NEERSLAG IN EEN UUR



FIGUUR 26

WATEROVERLAST IN WIJK SNEL EN POLANEN EN STAATSLIEDENKWARTIER IN WOERDEN BIJ 80 MM NEERSLAG IN EEN UUR



In geval van een verhoogd maalstoppeil met 20 cm is de overstort mogelijk verdronken. De overlaten die afwateren op de boezem en mogelijk verdronken zijn bij het samenvallen van een langdurige hoge neerslagperiode (regionaal systeem) met piekbuien (stedelijk systeem) bevinden zich in het Centrum en Schilderskwartier. Het gaat in totaal om 4 overstortlocaties die zijn aangeleverd. Het volume water wat door de overstorten die lozen op de boezem in een situatie met verdronken overstort (van 3 uur) niet kan plaatsvinden is geschat op 2950 m³ (uit 'Overstortrapportage Woerden 31 mei 2018_peruur'). Dit komt overeen met een neerslaghoeveelheid van 1,4 mm/uur in het Centrum en Schilderskwartier (Het volume water bij de verschillende hoeveelheden neerslag is opgenomen in Tabel 15).

TABEL 15

NEERSLAGVOLUMINA IN WOERDEN

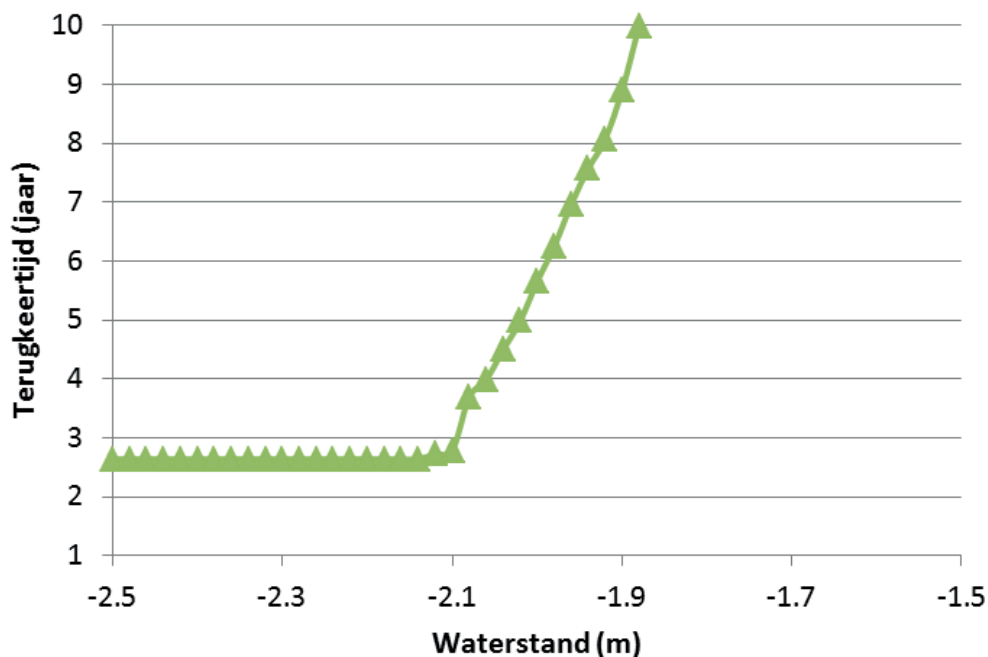
Neerslag	Volume in Woerden (m ³)	Volume Centrum & Schilderskwartier(m ³)
20 mm	147000	42000
40 mm	366000	98000
60 mm	580000	155000
80 mm	773000	208000

REGIONAAL WATERSYSTEEM

Voor het regionale watersysteem is het waterbezwaar uitgewerkt op basis van geselecteerde gebeurtenissen. Voor een locatie in polder Hekendorp is de relatie tussen de waterstand en de terugkeertijd opgenomen in Figuur 27. Deze waterstand is vervolgens op basis van de peilvakkenkaart en AHN3 vertaald naar een ruimtelijk beeld van het waterbezwaar.

FIGUUR 27

OVERSCHRIJDINGSFREQUENTIE WATERSTAND IN POLDER HEKENDORP



A.3.2 KWANTIFICERING WATERSCHADE EN RISICO

SCHADEBEPALING

Stedelijk watersysteem

In Tabel 16 is de schade, exclusief bebouwing, opgenomen zoals die voor de verschillende neerslaggebeurtenissen is bepaald. De schade aan bebouwing is als een aparte post toegevoegd. In Tabel 17 is de schade aan bebouwing opgenomen. De som van beide leveren de totale schade. De schade in Tabel 16 wordt als hoog ervaren. Daarnaast wordt er ook een significant deel van de schade toegekend aan woongebied (0,92 M€ bij 20 mm/uur en 1.07 M€ bij 80mm/uur) en industrie (respectievelijk 0.15 en 0.52 M€). Aangezien de woonfunctie niet is gemodelleerd is de vraag wat de kwaliteit van de schademodeltering is.

TABEL 16

SCHADE PER WIJK VOOR VERSCHILLENDE NEERSLAGGEBEURTENISSEN VOOR DE REFERENTIESITUATIE EXCLUSIEF SCHADE AAN BEBOUWING

	20 mm/uur	40 mm/uur	60 mm/uur	80 mm/uur
Middelland	€ 41.000	€ 115.000	€ 202.000	€ 286.000
Centrum	€ 150.000	€ 181.000	€ 215.000	€ 249.000
Waterrijk	€ 785.000	€ 815.000	€ 857.000	€ 909.000
Molenvliet	€ 166.000	€ 255.000	€ 292.000	€ 311.000
Totaal	€ 1.142.000	€ 1.366.000	€ 1.566.000	€ 1.755.000

TABEL 17

SCHADE PER WIJK VOOR VERSCHILLENDE NEERSLAGGEBEURTENISSEN VOOR DE REFERENTIESITUATIE VOOR BEBOUWING

	20 mm/uur	40 mm/uur	60 mm/uur	80 mm/uur
Middelland	€ 88.000	€ 2.899.000	€ 5.236.000	€ 6.161.000
Centrum	€ 113.000	€ 242.000	€ 273.000	€ 349.000
Waterrijk	€ 50.000	€ 1.996.000	€ 3.193.000	€ 3.861.000
Molenvliet	€ 1.826.000	€ 4.298.000	€ 5.630.000	€ 6.706.000
Totaal	€ 2.077.000	€ 9.435.000	€ 14.332.000	€ 17.077.000

De schade in een situatie met een verdrinken overstort is hoger omdat het water nog op land staat. De schade (Tabel 18) is bepaald op basis van lineaire interpolatie van de schades in de referentie, waarbij is verondersteld dat het overstortvolume als extra neerslag valt.

TABEL 18

SCHADE PER WIJK VOOR VERSCHILLENDE NEERSLAGGEBEURTENISSEN BIJ GEBLOKKEERDE OVERSTORT (IN MILJOENEN EURO'S)

Schade [M€]	20 mm/uur	40 mm/uur	60 mm/uur	80 mm/uur
Referentie	3.2	10.8	15.9	18.8
Geblokkeerde overstort	3.7	11.2	16.1	19.2

Reflectie

Opvallend is in Tabel 16 dat de schade nauwelijks oploopt bij extremere neerslag. Daarnaast valt direct op dat de toename van de schade door een geblokkeerde overstort beperkt is. Het volume water bij een geblokkeerde overstort van 3 uur komt overeen met een verschil in neerslag van 1,4 mm. Daarnaast is de vraag of de hoogte van de schade correct is weergegeven.

In Woerden is op 5 september 2018 een extreme bui gevallen van 94 mm in zeer korte tijd. Deze situatie kan worden vergeleken met het modelresultaat bij 80mm in een uur. In deze periode is bij een (grote) verzekeraar een schade gemeld van enkele duizenden euro's aan woonhuizen en inboedel. Hierbij geldt de kanttekening dat het gaat om woningen en niet om andere objecten, en dat de verzekeringsmaatschappij niet iedereen verzekert. Ook vanuit de gemeente is er geen beeld van grote schades behalve een gestremde weg. Deze stremming was echter veroorzaakt door een geblokkeerde afsluiter.

Omdat het waterbeeld is gevalideerd door de gemeente tijdens de ontwikkeling ervan, wordt geconcludeerd dat de berekende schade factoren (tot enkele honderden) te hoog is. Dit kan komen door zowel het schademodel zelf (en dan met name de schadefuncties) maar ook de aansluiting van het watermodel op het schademodel.

Regionaal watersysteem

De schade in de poldergebieden (Tabel 19) is bepaald met de Waterschadeschatter voor de verschillende gebeurtenissen. Bij de bepaling van de schade vallen een aantal aspecten op:

- De latere maalstop in de maatregel leidt tot een flinke daling van de schade (hierbij merken we op dat de gewasschade als gevolg van hoge grondwaterstanden in situaties waarbij er geen inundaties zijn nog niet is meegenomen).
- De gebeurtenissen, geselecteerd op basis van de overschrijdingsfrequentie van de waterstanden in de polders, zijn niet één op één gekoppeld aan de schadegebeurtenissen.
- De inundatieschades zoals bepaald voor de verschillende gebeurtenissen variëren (veel) minder sterk dan de terugkeertijd van de gebeurtenissen. Ook is de schade zoals bepaald met de Waterschadeschatter voor situaties met een hoge terugkeertijd zeer hoog. Zo leidt een gebeurtenis met een terugkeertijd van 3 jaar tot een schade van 380 Meuro en 20 jaar tot 440 euro. Voor de risicoanalyse zijn de schadebedragen gecorrigeerd omdat we veronderstellen dat tot terugkeertijden van 20 jaar er geen significante inundatieschade optreedt.

Daarnaast zijn er enkele verbeterpunten geconstateerd voor de methode en het schademodel:

- Consistentie kaarten in Waterschadeschatter. Het waterhuishoudkundig model is gebaseerd op AHN3, in de schadeberekening zou AHN3 gebruikt moeten worden maar blijkt in de praktijk voor het projectgebied dat AHN2 wordt gebruikt. In combinatie met de actuele gedetailleerde kaart van het grondgebruik leidt dit tot foutieve schades.
- Modelfouten. In de gevolgde aanpak wordt een waterstand berekend door SOBEK op één

punt, vertaald middels AHN3 en een peilvakkenbestand naar een vlakdekkende waterdiepte. Hier kunnen ook fouten door ontstaan.

- Grondgebruik. Rondom Woerden zijn er rondom de boerderijen veel boerenerven. Deze erven zijn aangemerkt als woongebied in de Waterschadeschatter wat leidt tot zeer hoge schades, het betreft hier voornamelijk landbouwgrond.

TABEL 19 SCHADE IN POLDERS DOOR EXTREME GEBIEDSNEERSLAG VOOR REFERENTIE EN DE MAATREGEL

Terugkeertijd (waterstand)	Schade referentie [M€]	Schade maatregel [M€]	Volume neerslag (mm)	Windsnelheid (m/s)	Windrichting	Neerslag- patroon	Startsituatie bodem
30	101	96	140	30	315	Lang	winter
40	80	63	140	30	180	Laag	winter
50	67	49	140	20	202.5	Laag	winter
100	142	109	160	25	202.5	Laag	winter
300	205	157	160	30	202.5	Kort	winter
500	225	188	180	20	202.5	Laag	winter
1000	297	257	180	30	270	Laag	winter

Noot: de schades zijn hierbij gecorrigeerd voor de bijdrage van de schade door vaker voorkomende gebeurtenissen.

Bepaling risico's

De risico's zijn in kaart gebracht voor de referentiesituatie (met geen kans op een verdrongen overlaat) en in geval dat het maalstoppeil is verhoogd. Hierbij zijn er twee situaties onderscheiden:

- 10% kan op samenvallen te hoge waterstand op de Oude Rijn en piekneerslag in het gebied;
- 30% kan op samenvallen te hoge waterstand op de Oude Rijn en piekneerslag in het gebied.

In de referentiesituatie is het totale risico (van het stedelijke watersysteem in Woerden en de polders rondom de Oude Rijn) 5.48 M€ per jaar. De bijdrage (gegeven de eerder berekende schades) van het stedelijk watersysteem is 1,83 M€ per jaar, van de polders 3.65 M€ per jaar.

TABEL 20 RISICO CASE WOERDEN

	Referentie	Verhogen maalstoppeil met 10% correlatie	Verhogen maalstoppeil met 30% correlatie
Risico	5.48 M€/jr	4.85 M€/jr	4.89 M€/jr
Netto contante waarde Risico	110 M€	97 M€	98 M€
Bijdrage van deelsystemen			
Stedelijk watersysteem	1.83	1.85	1.90
Regionaal watersysteem	3.65	2.99	2.99

In geval van 100% correlatie neemt het risico toe tot 5.06 M€/jr indien het maalstoppeil wordt verhoogd (de NCW is dan 101 M€). De bijdrage van het stedelijk watersysteem is dan 2.07 M€/jr.

A.3.3 KOSTEN VAN MAATREGELEN

De kosten van de maatregel bestaan uit:

- Aanpassen van het maalstopregime. Deze kosten zijn nihil omdat het gaat om een operationele instelling van de gemalen.
- Versterken van de regionale waterkeringen. Deze zullen minimaal 20 cm verhoogd moeten worden. Rijnland heeft in de case voor compartimentering kentallen opgeleverd voor versterken van regionale waterkeringen die ook nu worden gehanteerd:
 - ophogen groene kade, 150 € per meter;

- beschoeiing aanbrengen, 150-200 € per meter;
- ophogen groene kade en aanvullen talud, 300 € per meter;
- ophogen en verzwaren wat hogere dijk, 1000 € per meter;
- stalen damwand, bebouwd/met weg, 2000€ per meter.

De lengte van de regionale keringen langs de Oude Rijn is ongeveer 120 km. Uitgaande van alleen ophogen van de kade zijn de kosten ongeveer 18 miljoen euro.

A.3.4 TOTALE KOSTEN

De totale kosten zijn opgenomen in Tabel 21. Duidelijk blijkt dat het niet kosteneffectief is om de het maalstoppeil te verhogen. Dit komt door de kosten voor dijkversterking. De maatregel is kosteneffectief als de kosten voor dijkversterking orde grootte 12-13 M€ zijn. De correlatie tussen hoge boezemwaterstanden die leiden tot verdrinken overstorten en piekbuien is hierbij nauwelijks significant.

Opgemerkt wordt dat de reductie aan gewasschade door lagere grondwaterstanden niet is meegenomen. Dit kan een extra baat zijn.

TABEL 21 RISICO'S EN KOSTEN IN K€ OP POLDER VIERAMBACHT (SCHAALNIVEAU POLDER)

	Referentie	Verhogen maalstoppeil met 10% correlatie	Verhogen maalstoppeil met 30% correlatie
Contante waarde risico [k€]			
Risico	110 M€	97 M€	98 M€
Kosten [k€]			
Kosten versterken waterkeringen	-	18 M€	18 M€
Baten gewasschadereductie	-	Niet bepaald	Niet bepaald
Totalen [k€]			
Totale kosten	110 M€	115 M€	116 M€
KBA ratio		negatief	negatief

A.4 GEVOELIGHEIDSANALYSE EN DISCUSSIE

Geconcludeerd is dat vanuit de integrale risicoanalyse het verhogen van het maalstoppeil met 20 cm niet aantrekkelijk is. De voornaamste reden hiervoor is de kosten van versterking van de regionale waterkeringen. De kans op samenvallen van piekbuien en verdrinken overstorten heeft nauwelijks effect op het risico.

De uitwerking van het risico is wel gegeven de benoemde inschattingen. Tijdens de studie zijn hier al wat kanttekeningen bij geplaatst. In de gevoeligheidsanalyse is de impact hiervan onderzocht. Aanbevolen wordt om de schadefuncties te gaan verbeteren voor zowel het stedelijk als het landelijk gebied. Daarnaast wordt aanbevolen om ook gewasschade door hoge grondwaterstanden mee te nemen.

A.4.1 HERSTELTIJD

De hersteltijd voor de schadeberekening is standaard ingezet op 0 uur. Bij een langere hersteltijd ontstaat er ook indirecte schade. In Tabel 22 zijn voor Woerden de schades (zonder bebouwing) bepaald met een hersteltijd van 6 uur. Deze schade neemt met een factor 4 tot 5 toe conform de Waterschadeschatter. Het risico neemt hierdoor ook toe tot een Netto Contante Waarde van 256 M€ in de referentie en 245 M€ bij een verhoogd maalstoppeil van 20cm en 10% correlatie. De 'baten' zijn iets groter, 9 M€, nog steeds onvoldoende voor een positieve

kosten-baten-verhouding.

TABEL 22

SCHADES WOERDEN PER WIJK VOOR VERSCHILLENDE NEERSLAGGEBEURTENISSEN. HERSTELTIJD = 6 UUR

	20 mm/uur	40 mm/uur	60 mm/uur	80 mm/uur
Middelland	€ 298.000	€ 1.338.000	€ 1.541.000	€ 1.756.000
Centrum	€ 173.000	€ 278.000	€ 450.000	€ 491.000
Waterrijk	€ 4.136.000	€ 4.305.000	€ 4.619.000	€ 4.945.000
Molenvliet	€ 305.000	€ 450.000	€ 505.000	€ 536.000
Totaal	€ 4.912.000	€ 6.371.000	€ 7.115.000	€ 7.728.000

A.4.2 OMVANG VAN DE SCHADE

Eerder is echter al geconstateerd dat de schade in stedelijk gebied eerder te hoog is dan te laag. Indien de schade in stedelijk gebied lager is dan is het effect van de correlatie tussen hoge boezemwaterstanden en piekbuien ook kleiner geredeneerd vanuit het risico (zie Tabel 23).

De schade in het landelijk gebied is gecorrigeerd voor schades die onder reguliere omstandigheden optreden. Als de schade een factor 2 groter is, dan blijkt er wel een positieve business case opgesteld te kunnen worden.

A.4.3 CORRELATIE TUSSEN STEDELIJK EN LANDELIJK GEBIED BIJ LANGDURIGE NEERSLAG

In de huidige analyse is er alleen een correlatie verondersteld in combinatie met piekbuien in de stad. In theorie, uitgaande van de berging en afvoercapaciteit van een riool kunnen er ook overstorten plaatsvinden bij langdurige neerslag. Indien bijvoorbeeld 100 mm in 3 dagen valt dan zal er water op straat blijven staan of ze er water overstorten. Vanuit de praktijk deze situaties echter niet bekend en daarom niet meegenomen. Daarnaast zal rekening moeten worden gehouden met neerslagpatronen en de reactiesnelheid van de watersystemen.

Het effect op het integrale risico lijkt beperkt. De huidige analyse geeft al aan dat een verhoogde correlatie beperkt effect heeft op het integrale risico. Daarnaast is de schade in stedelijk gebied als veel te hoog aangemerkt.

TABEL 23

GEVOELIGHEIDS-ANALYSE SCHADE

De kosten voor dijkversterking zijn geraamd op 18 M€	Referentie	Verhogen maalstoppeil met 10% correlatie	Verhogen maalstoppeil met 30% correlatie
Contante waarde risico [k€]			
Risico referentie	110 M€	97 M€	98 M€
Risico factor 10 lagere schade stedelijk gebied	77 M€	82 M€	82 M€
Risico factor 2 hogere schade stedelijk gebied (als indicator over stedelijk gebied in de oude rijn)	146 M€	134 M€	136 M€
Risico bij factor 2 hogere schade in het landelijk gebied	183 M€	157 M€	158 M€
Risico bij factor 2 hogere schade in het landelijk & stedelijk gebied	291 M€	194 M€	196 M€

A.4.4 GEWASSCHADE

Deze is nu alleen meegenomen bij inundatie, echter bij ander maalregime zijn er veel vaker baten voor landbouw. Hier is er een extra baat voor landbouwopbrengst. Deze baat kan aanzienlijk zijn, omdat in 1998 de gewasschade (door hoge grondwaterstanden) de voornaamste schadepost was als gevolg van extreme neerslag. Ook bij het afleiden van de toenmalige NBW normen is rekening gehouden met gewasschade. Aanbevolen wordt in een MKBA voor wateroverlast deze schadecomponent mee te nemen.

BIJLAGE B

CASE RIJNLAND

B.1 SCOPE EN SYSTEEMBESCHRIJVING

B.1.1 DE TECHNISCHE WERKING VAN HET WATERSYSTEEM

De volgende factoren zijn voor Rijnland van invloed op het integrale risico:

- Extreme neerslag in stedelijk gebied (piekbuien);
- Inundatieschade in polders door langdurige neerslag;
- Doorbraken van regionale waterkeringen;
- Doorbraken van primaire waterkeringen.

Deze case van de integrale risicoanalyse heeft betrekking op de inzet van noodwaterkeringen (ofwel compartimenteringskeringen in de boezem). De vraag hierbij is of het investeren in deze keringen doelmatig is om te voldoen aan de normstelling van deze keringen of om deze normen zelfs te kunnen verlagen. Naast het investeren in de bestaande compartimenteringskeringen kijken we ook naar de inzet van een mobiele noodwaterkering.

FIGUUR 28

COMPARTIMENTEN OP DE BOEZEM VAN RIJNLAND

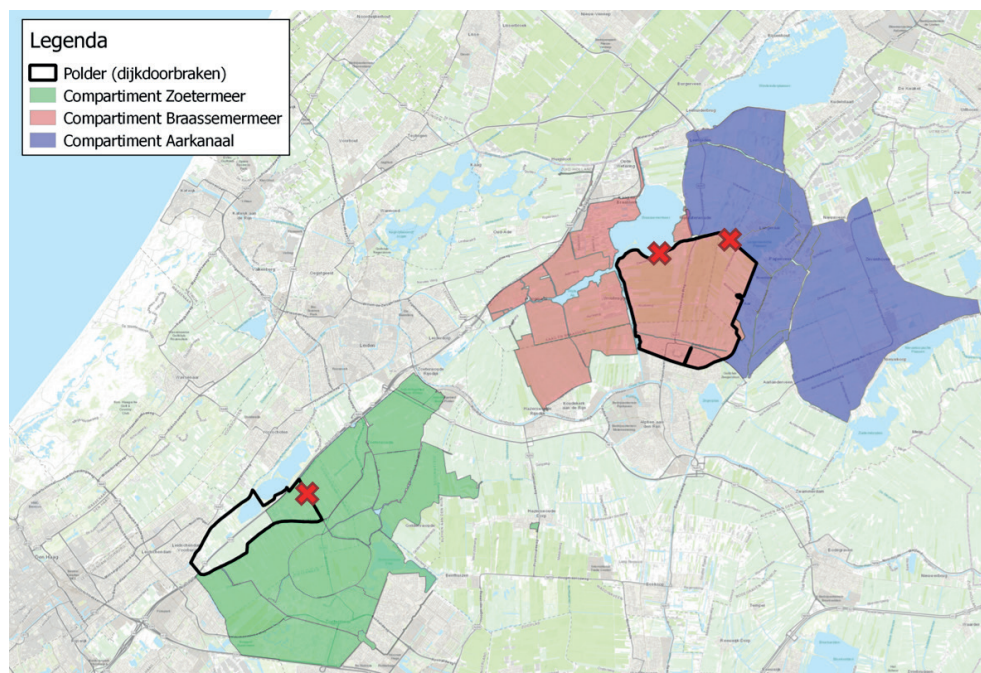


De normen voor de regionale waterkeringen zijn vastgelegd in de provinciale verordening en zijn gebaseerd op de IPO richtlijn voor het normeren van boezemkaden. Op basis van de schade die optreedt na een doorbraak wordt hierbij in eerste instantie een normklasse voorgesteld, waarna er nog een bestuurlijk afweging wordt gemaakt. De schadebepaling voor de normering is gebaseerd op conservatieve veronderstellingen. Zo is verondersteld dat er evenwicht wordt bereikt in de uiteindelijke boezemwaterstand en de doorgebroken polder. Ook is verondersteld dat er geen beheermaatregelen worden genomen, omdat hier geen toetsbare afspraken over bestaan.

In het boezemstelsel van het hoogheemraadschap van Rijnland bevinden zich 87 vaste noodwaterkeringen, die in geval van een calamiteit kunnen worden ingezet om de boezem te compartimenteren in 9 kleinere eenheden. In Figuur 28 is een overzicht opgenomen van de bestaande compartimenten. In deze studie is gekeken naar 3 compartimenten: Het Aarkanaal, Braassemmermeer en Zoetermeer. Met deze compartimenten hebben we zowel gebieden die grenzen aan grotere meren als aan kleinere boezemkanalen.

FIGUUR 29

OVERZICHT VAN DE POLDERS DIE LOZEN OP DRIE BESCHOUWDE COMPARTIMENTEN EN DE BRESLOCATIES (RODE KRUIZEN) EN BIJBEHORENDE



De inzet van een noodwaterkering raakt zowel het beheer van regionale waterkeringen, het regionale watersysteem als de crisisorganisatie. De inzet van compartimenteringskeringen:

- Verkleint de hoeveelheid water die een polder in kan stromen na een doorbraak.
- Heeft invloed op de waterstandsval op de boezem, deze zal groter zijn op het compartiment zelf maar kleiner op het deel van de boezem buiten dit compartiment.
- Kan leiden tot een maalstop voor de poldergemalen die lozen op het compartiment.
- Is afhankelijk van de crisisorganisatie. Indien compartimenten in de dreigingsfase worden gerealiseerd zal dit eisen stellen aan de crisisorganisatie. Het gaat er hierbij om hoe vaak een compartiment wordt gerealiseerd versus de frequentie van overstromingen en welke eisen dit stelt aan de crisisorganisatie.

In het verleden is al gekeken naar de inzet van noodcompartimentering op de boezem van Rijnland. In deze studie is ook een KBA uitgevoerd, waarbij rekening is gehouden met de verminderde schade in een polder na een doorbraak en met de kosten van de compartimenteringswerken (Nelen & Schuurmans, 2017).

B.1.2 BETROKKEN STAKEHOLDERS

In de casestudie is alleen het waterschap betrokken, het gaat hierbij om de volgende expertises verdeeld over verschillende specialisten en afdelingen:

- Het watersysteem;
- Waterkeringen;
- De crisisorganisatie.

FIGUUR 30

FACETTEN INTEGRALE RISICOANALYSE IN CASE RIJNLAND

	Stedelijk	Regionaal water-systeem	Regionale keringen	Primaire keringen
Watersysteem		✓	✓	
Openbare ruimte				
Crisisbeheersing			✓	

B.1.3 REFERENTIESITUATIE EN MAATREGELEN

REFERENTIESITUATIE

Onder de referentiesituatie verstaan we de huidige situatie. We gaan uit van de vigerende normen en het huidige klimaat. Verder veronderstellen we dat er geen compartimenten worden gevormd.

Bij de normering is rekening gehouden met het bereiken van evenwicht tussen de boezemwaterstand en de waterstand in de polder. In de studie 'Onderzoek noodwaterkeringen Rijnland' is de verwachting opgesteld dat na een dijkdoorbraak na 48 uur de instroom kan worden gestopt. Op basis van ervaringen bij bijvoorbeeld Wilnis in 2003 lijkt dat een realistische inschatting.

MAATREGELEN

Voor de case in Rijnland kijken we naar de volgende maatregelen:

- Inzet van (bestaande) noodwaterkeringen uitgaande van de bestaande compartimenten.
- Inzet van een mobiele noodwaterkering. Het hoogheemraadschap beschikt over diverse depots waar stortsteen, ongevulde bigbags en zandzakken zijn opgeslagen. De locaties zijn verspreid gekozen zodat materiaal snel ter plaatse kan zijn om een alternatieve noodwaterkering te kunnen realiseren.

Bij deze maatregelen speelt de factor tijd een rol. Van belang hierbij is of de maatregel preventief wordt ingezet (in de dreigingsfase) of reactief. Preventief inzetten van de maatregelen zal gebaseerd zijn op verwachtingen en meldingen. Het is hierbij nog onzeker of de boezemkade daadwerkelijk zal falen. De maatregelen zijn dan verder gespecificeerd:

- T12: Inzet van (bestaande) noodwaterkeringen 12 uur voor de verwachte doorbraak. Dan wordt gestart met het vormen van het compartiment. Deze 12 uur is gekozen omdat deze tijd naar verwachting nodig is voor het sluiten. Dit vereist dus vroege detectie van zwakke plekken en actieve besluitvorming (kortweg de crisisorganisatie). We gaan er vanuit dat het aantal keer dat de compartimentering wordt ingezet 5x hoger is dan het aantal keer dat er een doorbraak plaatsvindt (met andere woorden: bij 20% kans op falen, 12 uur voor de doorbraak wordt de compartimentering ingesteld).
- T6: Inzet van (bestaande) noodwaterkeringen 6 uur voor de verwachte doorbraak. We gaan er vanuit dat het aantal keer dat de compartimentering wordt ingezet 5x hoger is dan het aantal keer dat er een doorbraak plaatsvindt.
- T0 Inzet van (bestaande) noodwaterkeringen direct na de daadwerkelijke doorbraak.
- MT0: Inzet van een mobiele noodwaterkering direct na de daadwerkelijke doorbraak. Hiervoor is een mobilisatietijd van 6 uur verondersteld. Daarnaast wordt de keuze voor de locatie, waarop deze mobiele noodwaterkering wordt geplaatst, bepaald door de lokale stroomsnelheden en afmetingen van de boezem.

In een gevoeligheidsanalyse is ook gekeken naar het effect van de maalstop. Deze is bedoeld om te voorkomen dat water van de ene polder(via de boezem en de bres) de andere polder weer instroomt. Onderzocht is of het niet doelmatiger is om toch te blijven malen waardoor geen extra inundatieschade ontstaat in de polders, maar wel dus extra schade in de reeds overstroomde polder.

In de gevoeligheidsanalyse is ook onderzocht wat het effect is op de verhouding tussen het aantal keer dat een compartiment wordt gevormd in de dreigingsfase en de daadwerkelijke overstroming. Als bijvoorbeeld bij een 10% kans op een doorbraak besloten wordt tot compartimentering, is deze verhouding 10:1.

B.2 METHODIEK EN BASISINFORMATIE

De integrale risicoanalyse wordt gekeken naar verschillende elementen in de beschouwde watersystemen. Hiervoor hebben we gebruik gemaakt van bestaande studies en modellen. Deze zijn in dit hoofdstuk toegelicht.

De effecten op waterstanden en overstromingsdieptes zijn bepaald aan de hand van waterhuishoudkundige modellen, waarin het gebied is geschematiseerd. Het waterbezwaar is bepaald aan de hand van scenario's, waarvoor de belastingen, randvoorwaarden en correlaties zijn bepaald. Op basis van het waterbezwaar zijn de effecten bepaald, in dit geval de totale kosten.

B.2.1 BELASTINGEN

De belastingen betreffen de natuurverschijnselen waar aan het gebied wordt blootgesteld. Om de natuurlijke variabiliteit van deze natuurverschijnselen te benaderen worden er gebeurtenissen gekozen die representatief zijn voor een bepaalde kans van voorkomen.

TABEL 24 BELASTINGEN CASE RIJNLAND

Type systeem	Belastingen	Bron
Regionaal watersysteem	Voor de bepaling van de extra schade in de polders door een maalstop is de T100-gebeurtenis gebruikt. Deze is geselecteerd o.b.v. een uitgebreide stochastische analyse met 9-daagse gebeurtenissen.	Quickscan Boezemstudie Rijnland (Hydrologic, 2016)
Regionale waterkeringen	Belasting bij de maatgevende waterstanden horende bij de norm. Er is geen rekening gehouden met extra neerslag in de polder. Ook is geen rekening gehouden met afhankelijkheden tussen polders. Verondersteld is dat de overstromingskans een factor 5 kleiner is dan de overschrijdingskans van de waterstand horende bij de norm.	LIWO / EU ROR
Stedelijk watersysteem	Neerslagstatistieken voor korte duur. Drie gebeurtenissen zijn beschouwd: T10, 100 en 1000 voor 2 uur (35, 70 en 140 mm). Deze statistieken zijn puntneerslag. De kans is gebaseerd op de recente statistieken voor neerslag met korte duur.	STOWA neerslagonderzoek
Primaire waterkeringen	Terugkeertijden van waterstanden in relatie tot de actuele en genormeerde dijksterkte. Hierbij is ook aangenomen dat de dijkvakken onafhankelijk zijn.	Deltaprogramma / LIWO

B.2.2 RANDVOORWAARDEN

De randvoorwaarden zijn van belang voor de modelinstellingen, waarmee de effecten van gebeurtenissen worden bepaald.

Voor het regionale watersysteem is als randvoorwaarde opgenomen dat in geval van een dijkdoorbraak een maalstop wordt ingesteld. Het water zal dus in de polder worden geborgen. Op basis van een maaiveldcurve opgesteld met het AHN3 voor deze polder is bepaald wat de stijging is van de waterstand.

Voor de regionale waterkeringen is als randvoorwaarde opgenomen dat verondersteld is dat de instroom van water na 48 uur is gestopt. De waterdiepte in de polder is bepaald aan de hand van een maaiveldcurve.

B.2.3 CORRELATIES

Interacties tussen verschillende watersystemen kan leiden tot effecten op waterstanden in deze gebieden. De maalstop is een correlatie tussen het regionale watersysteem en de regionale waterkering. Voor gebeurtenissen waarin de boezem gecompartmenteerd wordt, wordt aangenomen dat deze samenvallen met gebeurtenissen waarvoor inundatie in de polder ontstaat in het regionale watersysteem door extreme neerslag. Dit is zeer plausibel, omdat voor beide watersystemen situaties met langdurig extreme neerslag leiden tot waterbezwaar.

Echter dijkdoorbraken kunnen ook plaatsvinden door andere omstandigheden (zoals droogte of zelfs andere factoren). Met deze correlatie wordt nu geen rekening gehouden.

B.2.4 WATERBEZWAAR

In Tabel 25 is de methode opgenomen hoe het waterbezwaar is bepaald per watersysteem.

TABEL 25 BEPALEN WATERBEZWAAR CASE RIJNLAND

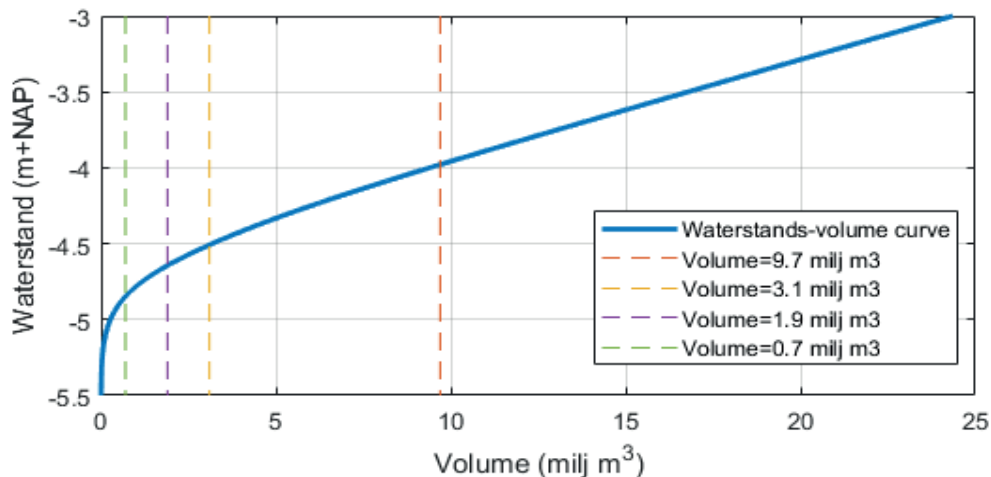
Type systeem	Beschrijving	Modellen
Regionaal watersysteem	Op basis van het AHN3 is een bergingscurve van de peilgebieden opgesteld. Op basis van het extra te bergen water (door de maalstop) zijn de nieuwe waterstanden bepaald voor een T100 situatie.	Quicksan Boezemstudie Rijnland (Hydrologic, 2016) aangevuld met GIS analyse.
Regionale waterkeringen	Voor de Rijnland-brede inschatting is gebruik gemaakt van de overstromingsgevolgen op LIWO / risicokaart. We zijn uitgegaan van een gemiddelde norm van 1/300 per jaar ⁵ . Voor de 3 casegebieden is het waterbezwaar in de polder bepaald door een bergingscurve van de polder, waarmee het volume wordt vertaald naar een waterstand. Deze bergingscurve is gebaseerd op AHN3 (5*5 m, waar nog een aantal aanpassingen ⁶ op zijn gedaan om het bruikbaar te maken). In Figuur 31 is een voorbeeld opgenomen van een maaiveldcurve. Het volume water dat de polder instroomt is bepaald met het SOBEK-model van de boezem uitgaande van een periode van 48 uur. De waterstandsval op de boezem is ook bepaald met het SOBEK-model van de boezem van Rijnland.	Rijnland brede inschatting op basis van LIWO / EU ROR (diverse overstromings-modellen) 3 cases met een detailanalyse: Boezemmodel Rijnland (SOBEK Rural) en AHN3 met GIS
Stedelijk watersysteem	De effecten en risico's zijn overgenomen uit de schattingen die door Deltares in opdracht van Rijkswaterstaat voor de EU ROR zijn opgesteld. In deze studie is verondersteld dat dat woningen pas met waterschade te maken krijgen als de waterdiepte meer is dan gemiddeld 15 cm. Hierbij is gewerkt met een vereenvoudigd landelijk model o.b.v. van uniforme keuzes over neerslag, beschikbare infiltratie- en riool-afvoercapaciteit, het aanwezige reliëf.	Tygron software (Slager K, 2018)
Primaire waterkeringen	De faalkansen en overstromingsgevolgen zijn gebaseerd op VNK2 waarbij rekening is gehouden met versterkingswerken tot 2015. Daarnaast is een doorkijk opgenomen naar het effect van de nieuwe normen (in 2050).	Risicoanalyse normering primaire waterkeringen (bron LIWO)

5 In werkelijkheid zijn er verschillende normklassen variërend van 1/10 tot en met 1/1000. Op de risicokaart staan alleen de gevolgen van 1/100 en 1/1.000 per jaar. De normen zijn gekoppeld aan een overschrijdingskans van de waterstand, voor de risicobepaling is deze vertaald naar een overstromingskans. Daarnaast zijn de gevolgen zeer conservatief ingeschat door geen rekening te houden met beheermaatregelen als compartimentering. Ook zal een beheerder middels maalstops de belasting van de boezem verkleinen. Door uit te gaan van een gemiddelde norm (1/300 per jaar) is hiermee verondersteld een voldoende nauwkeurige indicatie van het risico op te kunnen stellen.

6 Het AHN-DTM bevat gaten (cellen die zijn geclassificeerd als niet-maaiveld objecten zoals bomen, gebouwen, bruggen, water en andere objecten). Deze gaten zijn voor deze case opgevuld met behulp van een focal statistics methode.

FIGUUR 31

ILLUSTRATIE VAN EEN MAAIVELDCURVE OM WATERSTANDEN IN DE POLDER TE BEPALEN GEGEVEN EEN BEPAALD VOLUME DAT DE POLDER INSTROOMT



B.2.5 EFFECTEN

De effecten van waterbezwaar zijn vertaald in schades. De schades zijn bepaald op basis van het schademodel SSM2017. Daarnaast leidt een waterstandsval op de boezem ook tot schade aan de boezem. Deze schades zijn eerder geschat in de studie naar inzet van noodcompartmentering in calamiteitensituaties (Nelen & Schuurmans, 2017).

B.3 INTEGRALE RISICOANALYSE

B.3.1 WATERBEELDEN

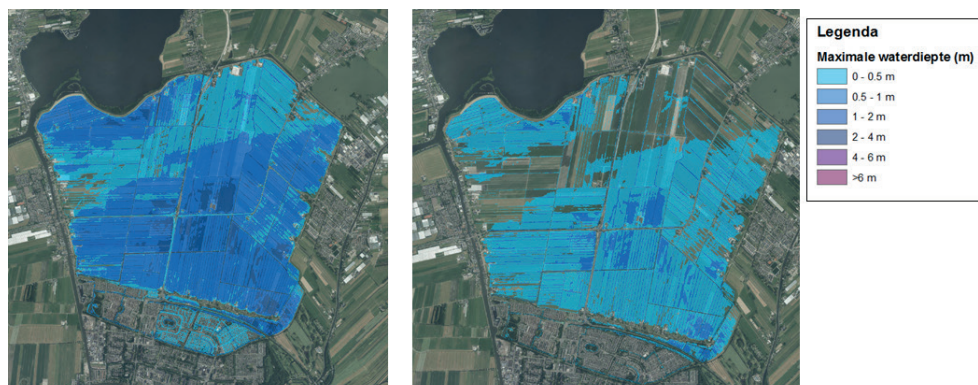
DE INVLOED VAN COMPARTIMENTERING OP DE OVERSTROMINGSDIEPTE IN DE DOORGEBROKEN POLDER

De compartimentering van de boezem zal leiden tot verminderde instroom in de polder. Van belang is de snelheid van instellen van het compartiment (wat de toevoer van andere delen van de boezem stopt) en de snelheid van sluiten van de bres (wat de instroom in de polder stopt).

In Figuur 32 is voor de polder Vierambacht het effect gepresenteerd op de overstromingsdiepte in de polder door inzet van compartimentering. Duidelijk is zichtbaar dat de waterstand in de polder lager is dan zonder compartimentering. In deze figuur is de vergelijking gemaakt met de variant T0 waarin is verondersteld dat de compartimentering wordt ingesteld na de doorbraak en pas na 12 uur effectief is. Het effect op de verlaging van de waterstand in vergelijking met T6 en T12 is dan dus kleiner. Echter, als keerzijde zal er ook geen sprake zijn van een 'onnodige' maalstop in de omliggende polders omdat deze pas wordt ingesteld als er zekerheid is over een doorbraak.

FIGUUR 32

LINKS: WATERDIEPTES ZONDER COMPARTIMENTEREN. RECHTS: WATERDIEPTES MET COMPARTIMENTERING DIRECT NA DE DIJKDOORBRAAK (T0)

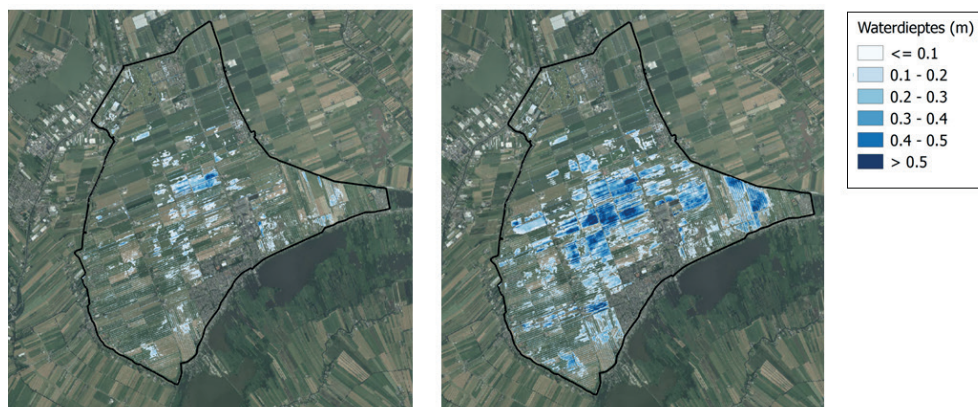


DE INVLOED VAN EEN MAALSTOP VANWEGE COMPARTIMENTERING

In Figuur 33 is het effect van een maalstop op de waterstand opgenomen in polder Nieuwkoop. In deze figuur zijn we uitgegaan van een T100 waterstand in de polder, waarbij de waterstandstoename is bepaald door de maalstop. Gegeven dit verschil in waterstand is ook de toename in de schade bepaald. Door de maalstop vanwege het ingestelde compartiment zal het water in de polder geborgen worden. Verondersteld is dat het water zich verzamelt op het laagste punt in de polder.

FIGUUR 33

EFFECT MAALSTOP DOOR COMPARTIMENTEREN IN POLDER NIEUWKOOP BINNEN HET COMPARTIMENT AARKANAAL



B.3.2 KWANTIFICERING SCHADE EN RISICO

De schade kan worden bepaald op basis van een gebeurtenis en wordt uitgedrukt in €. Het risico combineert de kans van voorkomen (per jaar) met de schade en wordt bepaald in €/jaar. De netto contante waarde is bepaald op basis van een discontovoet van 4% en een oneindige periode.

STEDELIJK WATERSYSTEEM

Voor het stedelijk watersysteem was het risico reeds bepaald in de studie voor de EU ROR; deze schattingen zijn overgenomen. De schademodelering is hierin uitgevoerd met een vereenvoudigde versie van de Waterschadeschatter⁷.

⁷ De schadefunctie is vereenvoudigd tot een representatieve grenswaarde: d.w.z. vanaf waterdieptes groter dan 5 cm ten opzichte van de drempelhoogte van een gebouw, wordt een gebouw als overstroomd beschouwd met schade tot gevolg. Verder wordt een gebouw als overstroomd beschouwd als er gemiddeld meer dan 15 cm om het gehele gebouw staat; dan treedt er maximale schade op (276 euro per m²). (Bron Slager 2018).

Om de schade te kunnen duiden is voor het stedelijke watersysteem is ook in kaart gebracht hoeveel gebouwen worden blootgesteld aan het water. Dat is beschreven in de gevoeligheidsanalyse.

REGIONAAL WATERSYSTEEM

Voor het regionale watersysteem is de schade en het risico bepaald op basis van een 1/100 per jaar gebeurtenis die is afgeleid uit de basisinformatie voor de normering voor regionale wateroverlast. De quickscan geeft een eerste indruk; later wordt dit in detail uitgewerkt. De schade bij de 1/100 per jaar gebeurtenis is 55 M€. Hiervan is 22.2 M€ schade aan infrastructuur. Er is geen rekening gehouden met kleinere terugkeertijden bij de bepaling van het risico, omdat hiervoor de data te onnauwkeurig lijken. Bij een 1/10 per jaar gebeurtenis treedt er een schade op van 34,5 M€, waarvan 20.8 M€ door infrastructuur wat zeer onwaarschijnlijk lijkt gezien de geldende normen.

In Tabel 26 is de extra schade door inundatie opgenomen in de polders die te maken krijgen met een maalstop in geval dat het compartiment wordt ingezet, waarbij is verondersteld dat anders het gemaal continu aan had gestaan. De schade is gekoppeld aan de duur. Bij een duur van 1 dag (waarbij de maalstop in de dreigingsfase wordt ingezet, maar omdat er geen bres optreedt na 1 dag weer wordt beëindigd) is lager dan bij 3 dagen wanneer er wel een bres is opgetreden.

De ervaring van Rijnland uit de praktijk is echter dat (bijna) faalgebeurtenissen bij regionale waterkeringen vaak niet zijn gecorreleerd aan hoogwater. Daarnaast zal tijdens een hoogwater al een aanzienlijk deel van de neerslag uit de polder zijn weggepompt. Daarom is bij de uitwerking van het risico maar 20% van deze schadepost meegenomen.

TABEL 26

SCHADEBEDRAGEN (IN M€) IN DE POLDERS GELEGEN AAN DE COMPARTIMENTEN DOOR WATEROVERLAST REGIONALE WATERSYSTEEM UITGAANDE VAN CONTINUE INZET BEMALING

Compartimenten	T100	T100 met maalstop 1dag	T100 met maalstop 3dagen
Aarkanaal	2.3	2.7	7.2
Braassemermeer	2.4	5.1	12.1
Zoetermeer	1.5	6.1	19.2

REGIONALE KERINGEN

Schade door dijkdoorbraken

Voor de regionale keringen is de totale schade als gevolg van dijkdoorbraken in het beheergebied van Rijnland bijna 22 miljard € (op basis van de scenario's op de risicokaart waarbij verondersteld is dat er geen beheermaatregelen worden genomen en uitgaande van de normering zonder systeemwerking).

Voor de 3 polders is de schade in de polder (en de effecten van maatregelen) bepaald middels een realistische inschatting, waarbij is aangenomen dat de instroom na 48 uur is gestopt. Deze periode van 48 uur wordt realistisch geacht op basis van Wilnis en is ook gebruikt in de eerder studie naar compartimentering in noodsituaties. De schattingen zijn opgenomen in Tabel 27. Voor de polders langs kanalen (Vierambacht langs het Aarkanaal en Meeslouwerpolder) is een bresbreedte van 50 m aangenomen, langs de meren 100 m vanwege de grote toestroom van water.

Uit de tabel blijkt duidelijk de invloed van compartimentering op de schade. Ook blijkt een duidelijk onderscheid in polders die liggen aan meren (waar er dus grote aanvoer water is) en polders die liggen in een stelsel aan boezemkanalen. Voor de polders in een stelsel aan boezemkanalen is de toevoer van water door de boezem de beperkende factor voor de instroom van water. Uit de tabel (en met name voor Vierambacht) blijkt dat een realistischer aanname over de duur van de instroom ook leidt tot aanzienlijk minder schade, en kan leiden tot een norm die 2 normklasse lager is in dit geval.

TABEL 27 SCHADEBEDRAGEN VOOR VERSCHILLENDE DIJKDOORBRAGEN IN MILJOENEN €

Polders	Norm	Schade bij onbeperkte instroom	Referentie (instroom 48 uur)	T0	T6	T12	MTO
Vierambacht (Aarkanaal)	Klasse V 1/1000 p.j.	6452	34.6	7.6	4.5	1.2	3.0
Vierambacht (Braassemermeer)	Klasse V 1/1000 p.j.	645.2	534.1	328.1	226.6	123.7	226.6
Meeslouwer-polder* (Zoetermeer)	Klasse III/IV 1/100 p.j.	191.3	51.7	11.2	5.0	2.0	3.3

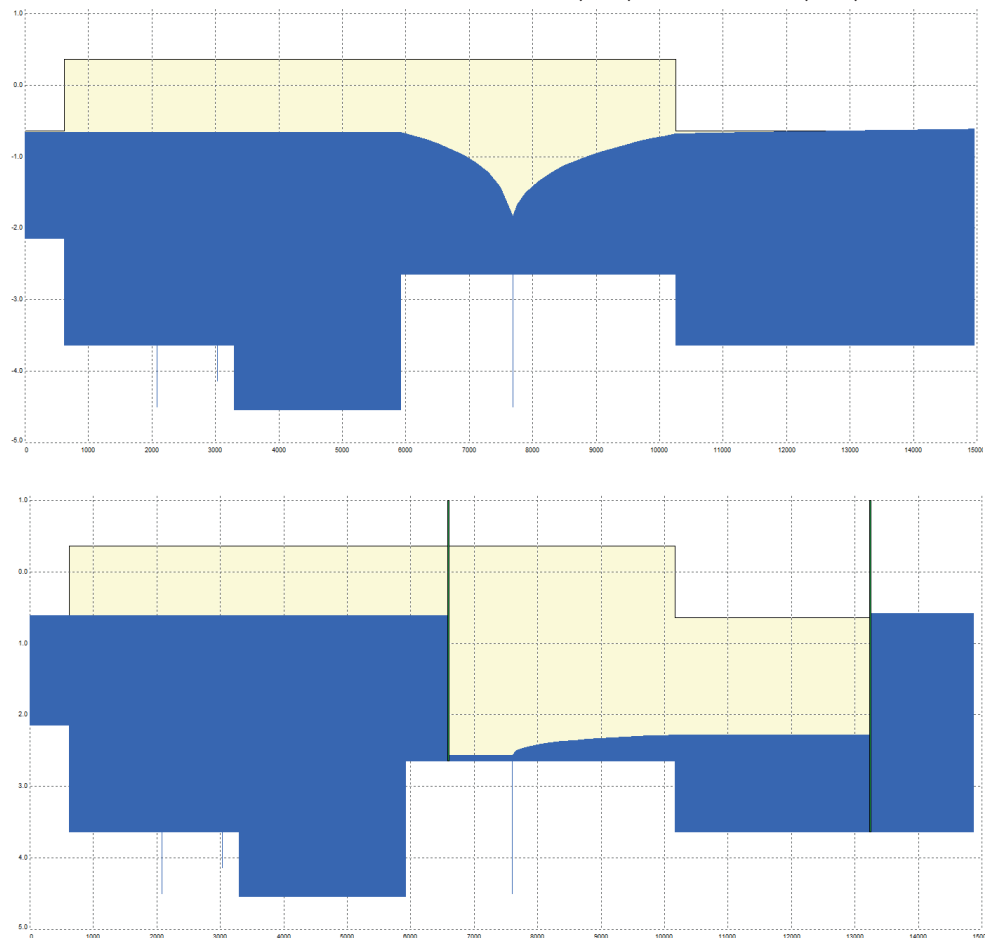
*De Meeslouwerpolder heeft bij de onderzochte bres een norm van 1/100 per jaar (klasse III). Voor andere delen van deze polder (langs een ander compartiment) is er een strengere norm van 1/300 p.j. wat de hogere schade verklaart zoals in LIWO is opgenomen.

Schade aan de boezem

Bij een doorbraak op de boezem daalt de waterstand op de boezem en treedt schade op aan keringen, constructies en aansluitingen. De inzet van de compartimenten kan leiden tot een extra daling van de waterstand op het compartiment (en minder daling erbuiten). In Figuur 34 is een voorbeeld hiervan opgenomen waarin het verhang over de boezem is gepresenteerd. Zonder noodwaterkeringen kan theoretisch 100% van het water in de boezem door de bres in de polder stromen, maar door wrijving en energieverliezen is op kilometers afstand de doorbraak zelfs na 48 uur veel minder merkbaar. De mate waarin dit merkbaar is, is afhankelijk van de afmetingen van de boezem uiteraard. In deze studie zijn we uitgegaan van een gemiddelde waarde.

FIGUUR 34

ILLUSTRATIE VAN DE WATERSTANDSDALING OP DE BOEZEM ZONDER COMPARTIMENT (BOVEN) EN MET COMPARTIMENT (ONDER)



In (Nelen & Schuurmans, 2017) is deze potentiële schade gekwantificeerd per compartiment. Hierbij is uitgegaan dat het waterpeil in elk compartiment met een meter daalt en deze daling ook enkele dagen aanhoudt. De aanwezigheid van bebouwing op de kades in van grote invloed op de potentiële schade aan boezemkaden en boezemland. De schattingen zijn opgenomen in Tabel 28.

TABEL 28

SCHADE OP DE BOEZEM PER COMPARTIMENT DOOR PEILDALING VAN EEN 1 METER IN (M€)

Compartimenten	Potentiële schade boezem	Referentie	Vaste compartimentering	Mobiele compartimentering
Aarkanaal	55	2.8	55	2.8
Braassemermeer	187	6.3	187	6.3
Zoetermeer	165	4.2	165	4.2

In (Nelen&Schuurmans, 2017) is de globale omvang van de schade bepaald door te kijken naar de omstandigheid in zones (boezemkade en boezemland) langs de boezem. De invloedssfeer is bepaald op basis van de samenstelling van de kade, de aanwezigheid van beschoeiing en de aanwezigheid van bebouwing. Op basis van ervaringscijfers is de globale omvang van de schade bepaald. Het uitgangspunt is een extreme situatie waarbij het waterpeil meer dan een meter daalt en enkele dagen aanhoudt.

Voor de variant MTO (de mobiele compartimentering) is aangenomen dat deze wordt ingesteld op 2 km afstand van de bres. We nemen de schade bij het noodcompartiment als fractie

van het totale compartiment o.b.v. het aantal kilometers boezemkades binnen de compartimenten.

In de referentiesituatie treedt ook schade op, doordat nabij de bres ook de waterstanden flink dalen. Dit is maar over een relatief klein traject omdat er ook aanvoer van water is. Uit enkele verkennende berekeningen blijkt dat de waterstand slechts enkele kilometers rondom de bres significant daalt. Verder weg dalen de waterstanden slechts enkele (tientallen) centimeters waarbij niet wordt verwacht dat er schade optreedt. Voor de referentie situatie wordt dezelfde schade aangehouden als bij de mobiele noodwaterkeringen waarbij over 2 kilometer boezemkade schade optreedt.

PRIMAIRE WATERKERINGEN

Het risico voor primaire waterkeringen is overgenomen uit het Deltaprogramma, dit is bepaald met HIS-SSM (de voorloper van SSM2017).

B.3.3 KOSTEN EN BATEN VAN MAATREGELEN

De kosten bestaan uit investeringen in de compartimenteringskeringen en uit kosten voor de crisisorganisatie (in geval dat deze werken preventief worden ingezet gedurende een dreiging).

INVESTERINGEN IN COMPARTIMENTERINGSKERINGEN

In de studie uit 2017 (Nelen & Schuurmans, 2017) is reeds een schatting van de kosten voor noodwaterkeringen uitgewerkt. Hierin wordt een schatting gegeven van de kosten van maatregelen, bestaande uit de investeringskosten van de maatregel en beheer- en onderhoudskosten. Kosten voor de inzet van de maatregelen worden uitgedrukt in uren en kosten voor de inzet van de maatregel.

Bestaande compartimentering

Deze kosten bestaan uit een afschrijving op achterstallig onderhoud van de balgstuwen (eenmalig € 1 miljoen, technische levensduur 40 jaar, 25 000 per jaar), en jaarlijkse inspectie van € 100,- per constructie en 1 x in de 5 jaar volledig testen van de constructie. Hiervan zijn de kosten geschat op € 1.500,- per keer voor een gemiddelde constructie en € 10.000,- per keer voor de balgstuwen en klepstuwen.

Mobiele compartimentering

In (Nelen & Schuurmans, 2017) zijn de investeringskosten voor de mobiele noodwaterkering geschat op €1 M€. Hierbij wordt op een vijftal locaties verspreid door het beheergebied materiaal neergelegd, waarmee een mobiele noodwaterkering gebouwd kan worden.

In de uitwerking van de variant MT0 kijken we slechts naar één polder. We rekenen hier de kosten van één depot aan toe. We veronderstellen dat de kosten evenredig verdeeld zijn over de compartimenten (afgerond gaan we uit van ½ depot per compartiment).

In werkelijk zijn er mogelijk nog schaalvoordelen. Deze uiten zich in depots die voor meer compartimenten ingezet kunnen worden (waarbij wel de eis aan tijdige uitvoering gehaald moet worden en er dus verwachtingen zijn van logistiek en uitvoering). Ook kunnen schaalvoordelen zich uiten in de organisatie (ook waterschapsoverstijgend).

TABEL 29

INVESTERINGSKOSTEN IN K€ VOOR COMPARTIMENTERINGS-MAATREGELEN

	Aarkanaal	Braassemermeer	Zoetermeer	Mobiele NWK per compartiment
Investering (eenmalig)	0	25,0	0	100,0
Inspectie (jaarlijks)	2,9	5,4	2,0	250,0
Kosten organisatie (jaarlijks)	1,0	1,0	1,0	500,0
CW kosten	78,0	153,0	60,0	115,0

INVESTERINGEN IN DE CRISISORGANISATIE

De kosten voor de crisisorganisatie (incl. de waterstands- en faalkansverwachtingen) zijn om tijdig het besluit te kunnen nemen zodat zowel de verwachte uitvoeringstijd is gerealiseerd, en dat de besluitvorming van voldoende kwaliteit is.

De kosten hebben dan alleen betrekking op wat extra moet gebeuren bij situaties waarin op basis van verwachtingen wordt gehandeld (T12 en T6). Verondersteld is dat in de variant T12 en T6 vijf maal vaker de compartimentering wordt ingezet dan dat de waterkering faalt. Dat betekent dat grofweg bij een faalkans van de waterkering van 20% de compartimentering wordt ingezet. De eisen aan de 'crisisorganisatie' zijn dus om deze situatie tijdig te kunnen voorspellen en het besluit tijdig te nemen en daadwerkelijk te kunnen uitvoeren binnen de gestelde tijd. De investeringen hebben dan betrekking op de opleiding van experts die de situatie kunnen beoordelen, een structuur om tijdig te beslissen en ondersteunende (expert) systemen. Rijnland beschikt al over een crisisorganisatie en uitvoeringscapaciteit.

De kosten voor het verbeteren en onderhouden van de crisisorganisatie zijn geraamd op jaarlijks 30 k€ voor T12 en 15 k€ voor T6. Deze kosten worden evenredig toegerekend aan ieder compartiment.

BATEN: MINDER DIJKVERSTERKINGEN VOOR REGIONALE WATERKERINGEN

Indien de normstelling wordt verlaagd dan zijn de eisen aan de waterkeringen ook minder streng. Dit zal leiden tot lagere dijkversterkingskosten. Gezien de geringe variatie in waterstanden op de boezem bij extreme terugkeertijden zal dit zich met name vertalen naar de eisen aan de sterktefactoren voor de waterkering.

Rijnland heeft kentallen opgeleverd voor versterken van regionale waterkeringen die ook nu worden gehanteerd:

- ophogen groene kade, 150 € per meter;
- beschoeiing aanbrengen, 150-200 € per meter;
- ophogen groene kade en aanvullen talud, 300 € per meter;
- ophogen en verzwaren wat hogere dijk, 1000 € per meter;
- stalen damwand, bebouwd/met weg, 2000 € per meter.

We gaan in deze case uit van gemiddelde kosten van 300 € per meter.

B.3.4 TOTALE KOSTEN

De totale kosten bestaan uit de combinatie van de kosten van het risico en de kosten van de investeringen. Om deze met elkaar te kunnen vergelijken worden deze risicokosten en investeringskosten allemaal teruggerekend naar een basisjaar (het heden). In dit overzicht is onderscheid gemaakt naar de verschillende componenten van de integrale risicoanalyse. Hiervoor is eerst gekeken op het schaalniveau van de polder zelf, wat gezien kan worden als

de sectorale (huidige aanpak). Vervolgens is integraal gekeken. Geconcludeerd kan worden dat een integrale aanpak daadwerkelijk leidt tot andere doelmatigere oplossingen.

POLDER VIERAMBACHT (AARKANAAL)

Schaalniveau van de polder

Voor de polder Vierambacht is de netto contante waarde van het risico 3,9 M€. De verdeling van dit risico over de verschillende onderdelen van het watersysteem is opgenomen in Tabel 30.

TABEL 30 NETTO CONTANTE WAARDE RISICO IN K€ VIERAMBACHT (SCHAALNIVEAU POLDER)

Stedelijk watersysteem	Regionaal watersysteem	Regionale keringen	Primaire keringen
1270	25	138	2456

In Tabel 31 is het effect van de maatregelen beschreven voor polder Vierambacht. Uit deze tabel blijkt dat de schade na een doorbraak daalt door inzet van (mobiele) compartimentering. De schade in de polder daalt met een factor 4.6 tot 27 waarbij het verschil in normklasse een factor 3 is. Strikt toepassen van de eenvoudige benadering van normering waarbij de normklasse wordt bepaald op basis van de schade zou dus leiden tot lagere normen. Hierbij merken we al op dat ook het nauwkeuriger inschatten van de gevolgen (en dan met name het instroomvolume) ook kan leiden tot lagere normklassen (zoals al aangetoond in Tabel 27).

Door de kosten van de maatregelen mee te nemen kan een eerste kosten-baten afweging worden opgesteld. Als we deze strikt toepassen op het niveau van de polder (passend in de sectorale benadering) dan zien we dat de business case soms positief en soms negatief is. De kosten voor het uitvoerbaar maken van de compartimentering zijn ingeschat op 78 k€, de mobiele compartimentering is ingeschat op 115 k€. De extra kosten voor de organisatie (crisisbeheersing) bij T12 en T6 bedragen respectievelijk 73 en 36 k€.

De kosten van de maatregelen met compartimentering wegen alleen in de variant T0 op tegen de reductie van het overstromingsrisico. Ook de mobiele compartimentering is positief. De kosten-baten-verhouding wordt positiever als ook dijkversterkingskosten worden voorkomen door de lagere norm. De mobiele compartimentering heeft een positieve business case als ruim 100 k€ aan dijkversterkingskosten wordt voorkomen. Indien de mobiele compartimentering Rijnland breed wordt toegepast, en de kosten dus verdeeld worden over alle compartimenten dan is de kosten-baten-afweging ook zonder de baten van dijkversterkingskosten al positief. Voor de maatregel T6 en T12 zijn er ook kosten voor de crisisorganisatie.

TABEL 31 RISICO'S EN KOSTEN IN K€ OP POLDER VIERAMBACHT (SCHAALNIVEAU POLDER)

	Referentie	T12	T6	T0	MT0
Contante waarde risico [k€]					
Regionale keringen	138	5	18	30	12
Kosten [k€]					
Kosten uitvoering maatregelen	-	78	78	78	115
Kosten Crisisorganisatie	-	73	73	-	-
Totalen [k€]					
Totale kosten	138	156	169	108	127
KBA ratio		Negatief	Negatief	Positief	Positief

Schaalniveau van het compartiment

Echter in een integrale benadering op het schaalniveau van het compartiment zijn er ook meer kosten: de schade aan de boezem en schade door maalstops. Deze schades treden op buiten de doorgebroken polder (dus op een regionaal schaalniveau). De veranderingen aan schades zijn veelal beperkt tot het betreffende compartiment; hiervoor hebben we de risico's dan ook uitgewerkt. In Tabel 32 zijn de risico's opgenomen op het schaalniveau van het gehele compartiment (dus inclusief alle polders die lozen op dit deel van de boezem).

TABEL 32

NETTO CONTANTE WAARDE RISICO IN K€ VIERAMBACHT (SCHAALNIVEAU COMPARTIMENT)

Stedelijk watersysteem	Regionaal watersysteem	Regionale keringen	Primaire keringen
16.113	486	6186	13460

In Tabel 33 zijn de effecten van de maatregelen op het risico en de kosten opgenomen. Hieruit blijkt dat voor de maatregelen met inzet van de vaste compartimentering de schade aan de boezem sterk toeneemt omdat de lokale waterstanden dalen. Deze verwachte toename van schade aan de boezem is veel groter dan de reductie van het risico. Voor T12 en T6 spelen ook de kosten voor de crisisorganisatie een rol. De maatregelen zijn voor deze polder niet kosteneffectief, tenzij ruim k€ aan dijkversterkingskosten worden bespaard door de lagere norm. De inzet van de noodcompartimentering leidt tot veel minder schade aan de boezem, echter voor deze polder zijn de kosten van inzet van deze noodcompartimentering relatief hoog. Als de kosten verdeeld worden over heel Rijnland dan is de inzet van noodcompartimentering voor deze polder wel kosteneffectief.

TABEL 33

RISICO'S EN KOSTEN IN K€ OP COMPARTIMENT VIERAMBACHT (SCHAALNIVEAU COMPARTIMENT)

	Referentie	T12	T6	T0	MT0
Contante waarde risico [k€]					
Regionale keringen	6186	6052	6065	6078	6059
Kosten [k€]					
Kosten maatregelen	-	78	78	78	115
Kosten door veroorzaakte schade	-	26	26	20	-
Kosten Crisisorganisatie	-	73	36	-	-
Schade aan boezem	11	220	220	220	11
Totale [k€]					
Totale kosten	6197	6428	6404	6380	6221
KBA ratio		Negatief	Negatief	Negatief	Negatief

POLDER VIERAMBACHT (BRAASSEMERMEER)

De polder Vierambacht ligt ook aan het Braassemermeer. Voor deze locatie kan er veel meer water de polder instromen vanwege de aanvoer uit het meer.

Schaalniveau van de polder

Voor de polder Vierambacht langs het Braassemermeer is de netto contante waarde van het risico 5,9 M€. De verdeling van dit risico over de verschillende onderdelen van het watersysteem is opgenomen in Tabel 34. Duidelijk valt op dat de bijdrage van het risico van een doorbraak van de regionale keringen nu veel hoger is dan bij een doorbraak van het Aarkanaal.

TABEL 34

NETTO CONTANTE WAARDE RISICO IN K€ VIERAMBACHT (SCHAALNIVEAU POLDER BRAASSEMERMEER)

Stedelijk watersysteem	Regionaal watersysteem	Regionale keringen	Primaire keringen
1270	25	2136	2456

In Tabel 35 is het effect van de maatregelen beschreven. Uit deze tabel blijkt dat de schade na een doorbraak daalt door inzet van (mobiele) compartimentering. Deze daling is dermate groot dat het ook kan leiden tot lagere normklassen voor regionale waterkeringen.

Door de kosten van maatregelen mee te nemen kan een eerste business case worden opgesteld. In alle varianten zoals beschouwd is deze positief, de kosten wegen (ruim) op tegen de baten. De baten kunnen worden verhoogd indien dijkversterkingen minder streng uitgevoerd hoeven te worden.

TABEL 35

RISICO'S EN KOSTEN OP POLDER IN K€ BRAASSEMERMEER (SCHAALNIVEAU POLDER)

	Referentie	T12	T6	T0	MT0
Contante waarde risico [k€]					
Regionale keringen	2136	495	906	1312	906
Kosten [k€]					
Kosten maatregelen	-	153	153	153	115
Kosten Crisisorganisatie	-	73	36	-	-
Totalen [k€]					
Totale kosten	2136	721	1095	1465	1021
KBA ratio		Positief	Positief	Positief	Positief

Schaalniveau van het compartiment

In Tabel 36 zijn de risico's opgenomen op het schaalniveau van het gehele compartiment (dus inclusief alle polders die lozen op dit deel van de boezem).

TABEL 36

NETTO CONTANTE WAARDE RISICO IN K€ BRAASSEMERMEER (SCHAALNIVEAU COMPARTIMENT)

Stedelijk watersysteem	Regionaal watersysteem	Regionale keringen	Primaire keringen
6015	476	4393	5103

In Tabel 37 zijn de effecten van de maatregelen op het risico en de kosten opgenomen.

Hieruit blijkt dat de inzet van het noodcompartiment, en de maatregelen met compartimentering die in de dreigingsfase worden ingezet kosteneffectief zijn (exclusief baten van voorkomen dijkversterking). Het reactief inzetten van de vaste compartimentering (T0) is alleen kosteneffectief als minimaal 92 k€ aan dijkversterkingskosten kan worden voorkomen. De relatief lage kosteneffectiviteit wordt bepaald, doordat de schade relatief weinig beperkt kan worden, omdat het langer de polder in kan stromen. Ook nu blijkt de schade aan de boezem het meest dominant.

TABEL 37

RISICO'S EN KOSTEN IN K€ OP COMPARTIMENT BRAASSEMERMEE (SCHAALNIVEAU COMPARTIMENT)

	Referentie	T12	T6	T0	MT0
Contante waarde risico [k€]					
Regionale keringen	4393	2752	3164	3570	3164
Kosten [k€]					
Kosten maatregelen	-	153	153	153	115
Kosten door veroorzaakte schade	-	83	83	39	-
Kosten Crisisorganisatie	-	73	36	-	-
Schade aan boezem	25	748	748	748	25
Totalen [k€]					
Totale kosten	4418	3743	4118	4479	3304
KBA ratio		Positief	Positief	Negatief	Positief

MEESLOUWERPOLDER

De Meeslouwerpolder ligt langs een boezemkanaal. Bij deze locatie kan er veel meer water de polder instromen vanwege de aanvoer uit het meer.

Schaalniveau van de polder

Voor de Meeslouwerpolder is de netto contante waarde van het risico 2.7 M€. De verdeling van dit risico over de verschillende onderdelen van het watersysteem is opgenomen in Tabel 38. Het risico in deze polder wordt gedomineerd door regionale waterkeringen.

TABEL 38

NETTO CONTANTE WAARDE RISICO IN K€ MEESLOUWERPOLDER (SCHAALNIVEAU POLDER)

Stedelijk watersysteem	Regionaal watersysteem	Regionale keringen	Primaire keringen
55	75	2086	457

In Tabel 39 is het effect van de maatregelen beschreven. Uit deze tabel blijkt dat de schade na een doorbraak sterk daalt door inzet van (mobiele) compartimentering. De daling in schade is zodanig dat het kan leiden tot een daling van één tot meer normklassen.

Door de kosten van maatregelen mee te nemen kan een eerste business case worden opgesteld. In alle varianten zoals beschouwd is deze positief, de kosten wegen (ruim) op tegen de baten. De baten kunnen worden verhoogd indien dijkversterkingen minder streng uitgevoerd hoeven te worden.

TABEL 39

RISICO'S EN KOSTEN OP POLDER IN K€ MEESLOUWERPOLDER (SCHAALNIVEAU POLDER)

	Referentie	T12	T6	T0	MT0
Contante waarde risico [k€]					
Regionale keringen	2068	45	198	449	133
Kosten [k€]					
Kosten maatregelen	-	60	60	60	115
Kosten Crisisorganisatie	-	73	36	-	-
Totalen [k€]					
Totale kosten	2068	178	294	509	248
KBA ratio		Positief	Positief	Positief	Positief

Schaalniveau van het compartiment

De verdeling van het risico over de verschillende onderdelen van het watersysteem in het gehele compartiment is opgenomen in Tabel 40. In Tabel 41 zijn de effecten van de maatregelen op het risico en de kosten opgenomen.

TABEL 40 NETTO CONTANTE WAARDE RISICO IN K€ MEESLOUWERPOLDER (SCHAALNIVEAU COMPARTIMENT)

Stedelijk watersysteem	Regionaal watersysteem	Regionale keringen	Primaire keringen
12725	292	10327	5894

Alleen de inzet van de mobiele noodwaterkering is kosteneffectief. De andere varianten zijn (verre van) kosteneffectief. Dat komt met name door de schade aan de boezem.

TABEL 41 RISICO'S EN KOSTEN IN K€ OP COMPARTIMENT MEESLOUWERPOLDER (SCHAALNIVEAU COMPARTIMENT)

	Referentie	T12	T6	T0	MT0
Contante waarde risico [k€]					
Regionale keringen	10327	8304	8457	8708	8392
Kosten [k€]					
Kosten maatregelen	-	60	60	60	115
Kosten door veroorzaakte schade	-	1457	1457	711	-
Kosten Crisisorganisatie	-	73	36	-	-
Schade aan boezem	169	6600	6600	6600	169
Totalen [k€]					
Totale kosten	10496	15328	15444	15510	8561
KBA ratio		Negatief	Negatief	Negatief	Positief

B.4 GEVOELIGHEIDSANALYSE EN DISCUSSIE

In de gevoeligheidsanalyse is gekeken naar:

- Lagere normklasse;
- Inzet van maalstops;
- Omvang van de bres;
- Inundatie in stedelijk gebied;
- Kwaliteit van de crisisorganisatie;
- Schade stedelijk gebied;
- Schademodellering.

LAGERE (MINDER STRENGER) NORMKLASSE

Indien de normklasse van de regionale kering met één klasse wordt verhoogd (door de compartimentering) dan stijgt het risico met een factor 3 (grootweg een normklasse). Compartimentering is kosteneffectief indien de toename van het risico opweegt tegen voorkomen dijkversterkingskosten. (Tabel 42 - Tabel 44 voor Vierambacht, Braassemermeerpolder en Meeslouwerpolder).

TABEL 42 RISICO'S EN KOSTEN IN K€ OP POLDER VIERAMBACHT (SCHAALNIVEAU POLDER) INDIEN NORMKLASSE ÉÉN KLASSE MINDER STRENG IS

	Geen compartimentering	T12	T6	T0	MT0
Bij 1 normklasse hoger voor de regionale waterkeringen					
Contante waarde Risico Regionale keringen	414	15	54	90	36
Totale kosten	414	151	151	78	115
Positieve KBA ratio bij voorkomen dijkversterkingskosten [k€]	276	10	36	60	24
Aantal km regionale keringen bij 300 €/m	82.8	3	11	18	7

TABEL 43 RISICO'S EN KOSTEN IN K€ OP POLDER BRAASSEMERMEER (SCHAALNIVEAU POLDER) INDIEN NORMKLASSE ÉÉN KLASSE MINDER STRENG IS

	Geen compartimentering	T12	T6	T0	MT0
Bij 1 normklasse hoger voor de regionale waterkeringen					
Contante waarde Risico Regionale keringen	6408	1485	2718	3936	2718
Totale kosten	6408	1711	2907	4089	2833
Positieve KBA ratio bij voorkomen dijkversterkingskosten [k€]	4272	990	1812	2624	1812
Aantal km regionale keringen bij 300 €/m	1282	297	544	787	544

TABEL 44 RISICO'S EN KOSTEN IN K€ OP POLDER MEESLOUWERPOLDER (SCHAALNIVEAU POLDER) INDIEN NORMKLASSE ÉÉN KLASSE MINDER STRENG IS

	Geen compartimentering	T12	T6	T0	MT0
Bij 1 normklasse hoger voor de regionale waterkeringen					
Contante waarde Risico Regionale keringen	6204	135	594	1347	399
Totale kosten	6204	268	690	1407	514
Positieve KBA ratio bij voorkomen dijkversterkingskosten [k€]	4136	90	396	898	266
Aantal km regionale keringen bij 300 €/m	1241	27	119	269	80

Indien de analyse ook wordt uitgevoerd op het schaalniveau van het compartiment dan wordt ook rekening gehouden met schade door maalstops en schade aan de boezem zelf. Als alleen de norm van de betreffende polder wordt aangepast is de KBA ratio veel minder positief. Als de norm ook in de andere polders wordt bijgesteld zal hier het risico ook grofweg met een factor 3 stijgen (immers de gevolgen veranderen niet, maar deze komen wel vaker voor). Inzet van compartimentering kan dit risico weer verder verkleinen. Deze effecten zijn niet nader verkend.

INZET VAN MAALSTOPS

In geval van het vormen van een compartiment wordt een maalstop ingesteld voor alle gemalen die lozen op dit compartiment. De vraag is echter of de schade door de maalstop opweegt tegen de extra schade die zou ontstaan in de doorgebroken polder. Hierbij treedt er geen maalstop op maar wordt verondersteld dat de inundatiediepte in de doorgebroken polder stijgt. Het effect is in kaart gebracht voor maatregel T0.

Voor de Meeslouwerpolder blijkt dat het instellen van de maalstop tot meer kosten leidt dan de toename van de schade in de polder. Voor de overige polders is het instellen van de maalstop kosteneffectief.

TABEL 45 INVLOED VAN MAALSTOPS

polders	Voorkomen schade door niet instellen maalstop	Toename schade in doorgebroken polder	KBA ratio
Vierambacht (Aarkanaal)	26 k€	39 k€	Negatief
Vierambacht (Braassemmermeer)	83 k€	567 k€	Negatief
Meeslouwerpolder*	1457 k€	1256	Positief

OMVANG VAN DE BRES

De omvang van de bres kan van invloed zijn op de hoeveelheid water die een polder instroomt. Mits er voldoende water beschikbaar is zal de overstroming dus toenemen.

Voor de Meeslouwerpolder is het volume water dat door de bres stroomt nauwelijks afhankelijk van de grootte van de bres. Bij een bres met een breedte van 50-150 meter is het instroomvolume ongeveer 6,5m³. De toestroom vanuit de boezem is hierbij dus beperkend.

Voor polder Vierambacht, langs het Aarkanaal, is de grootte van de bres wel van belang. Bij een bres van 50 m breed stroomt er 9,7 m³ de polder in. Bij een bres van 100 m is dat een debiet van 15,7 m³. Het verschil in volume water is ongeveer gelijk aan het verschil tussen de referentiesituatie en T0. Dat betekent dat de uitkomsten gevoelig zijn voor de afmetingen van de bres, daar waar de toevoer hiervoor niet beperkend is.

Bij grotere bressen lijkt de toestroom weer bepalend te worden via de boezem, bij een bresbreedte van 150 m is het volume vrijwel gelijk.

PRESTEREN VAN DE CRISISORGANISATIE

Aangenomen is dat de crisisorganisatie de situatie zodanig kan inschatten dat ze 12 of 6 uur voor de doorbraak het besluit kunnen nemen. Ook is hierbij aangenomen dat dit besluit plaatsvindt bij een faalkans van 20%. Deze duur en faalkans kunnen worden gezien als prestatie-indicatoren. Onderzocht is wat het effect is van andere prestatie indicatoren bij T12 en T6. De baten van een betere crisisorganisatie vertalen zich naar de reductie van de bijdrage aan de totale kosten door maaltstops.

In Tabel 46 is de verandering van het schaderisico opgenomen. In Tabel 47 is het effect op de totale kosten opgenomen. De kosten voor de crisisbeheersing zijn geraamd op 73 k€ voor T12 en 36 k€ voor T6.

De gevoeligheidsanalyse levert de volgende conclusies op:

- De prestatie-eisen aan crisisbeheersing zijn relevant en variëren per polder. Te vaak instellen van compartimentering leidt tot een toename van de totale kosten.
- Ten opzichte van de andere posten die bijdragen aan het risico leveren andere prestatie-eisen aan crisisbeheersing nergens een andere KBA ratio.

Het presteren van de crisisorganisatie (en in feite frequentie van schades van maaltstops die hiermee kan worden voorkomen) heeft geen invloed op de KBA ratio.

TABEL 46

EFFECT OP SCHADERISICO DOOR ANDERE PRESTATIE-EISEN CRISISBEHEERSING

	Vierambacht (Aarkanaal)	Vierambacht (Braassemermeer)	Meeslouwerpolder
	Effect schaderisico (T12 en T6)		
5%	+ 22k€	+164 k€	+2797 k€
10%	+ 7k€	+55 k€	+932 k€
20%		referentie	
50%	- 5 k€	-33 k€	-560 k€
100%	- 6 k€	-44 k€	-746 k€

TABEL 47

EFFECT OP TOTALE KOSTEN DOOR ANDERE PRESTATIE-EISEN CRISISBEHEERSING

		Referentie	T12	T6
Vierambacht Aarkanaal				
Totale kosten [k€]	Crisisbeheersing 5%		3.929	3.949
Totale kosten [k€]	Crisisbeheersing 10%		3.914	3.927
Totale kosten [k€]	Crisisbeheersing 20%	3.889	3.907	3.920
Totale kosten [k€]	Crisisbeheersing 50%		3.902	3.915
Totale kosten [k€]	Crisisbeheersing 100%		3.901	3.914
Vierambacht Braassemermeer				
Totale kosten [k€]	Crisisbeheersing 5%		3973	4348
Totale kosten [k€]	Crisisbeheersing 10%		3864	4239

		Referentie	T12	T6
Totale kosten [k€]	Crisisbeheersing 20%	4418	3809	4184
Totale kosten [k€]	Crisisbeheersing 50%		3776	4151
Totale kosten [k€]	Crisisbeheersing 100%		3765	4140
Vierambacht Aarkanaal				
Totale kosten [k€]	Crisisbeheersing 5%	10496	19291	19407
Totale kosten [k€]	Crisisbeheersing 10%	10496	17426	17542
Totale kosten [k€]	Crisisbeheersing 20%	10496		
Totale kosten [k€]	Crisisbeheersing 50%	10496	15934	16050
Totale kosten [k€]	Crisisbeheersing 100%	10496	17240	17356

SCHADE IN STEDELIJK GEBIED

De schade berekend in stedelijk gebied is aangemerkt als hoog. Voor heel Rijnland is deze geschat op 25 M€ per jaar. Deze schatting is gebaseerd op (Slager K, 2018). In deze studie is verondersteld dat schade bij een woning optreedt bij een inundatiediepte van gemiddeld 15 cm of meer rondom het object. De schade is dan 276 € per m², deze schade is gebaseerd op een vereenvoudiging van de Waterschadeschatter. Het risico is bepaald op basis van waterstanden bepaald bij een 2 uur neerslag die eens per 10, 100 en 1000 jaar optreden.

Er is een gevoeligheidsanalyse gedaan waarbij het aantal getroffen woningen wordt bekeken bij drie neerslagintensiteiten voor verschillende drempelwaardes voor blootstelling. De getroffen panden zijn bepaald o.b.v. de geodatabase van het Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG). In deze database zijn *feature classes* beschreven waaronder “panden”, wat de footprints van de gebouwen aangeeft. Met behulp van de waterdieptekaarten is gekeken naar het aantal getroffen panden. Hierbij is telkens gekeken naar de maximale waterdiepte in het pand. Het resultaat is te zien in Tabel 48. Naast de getroffen panden zijn voor de verschillende bui intensiteiten en drempelwaardes ook het percentage panden van het totaal aantal panden (1.238.260) opgenomen dat wordt blootgesteld aan waterbezwaar.

TABEL 48

GETROFFEN PANDEN VOOR VERSCHILLENDE BUI INTENSITEITEN EN VERSCHILLENDE DREMPELWAARDES IN HET BEHEERGEBIED VAN RIJNLAND

	T10		T100		T1000	
Neerslagvolume in 2 uur	35 mm		70 mm		135 mm	
5 cm drempelwaarde	86.319	7.0%	226.419	18.3%	355.354	28.7%
10 cm drempelwaarde	24.180	2.0%	125.259	10.1%	258.021	20.8%
15 cm drempelwaarde	9.986	0.8%	65.935	5.3%	176.160	14.2%
20 cm drempelwaarde	5.371	0.4%	35.247	2.8%	116.579	9.4%

Onderzoek van Spekkers (2015) op basis van data van verzekeraars laat zien dat de gemiddelde schade aan een woning orde grootte 2000 € is. Als we veronderstellen dat bij een drempel van 15 cm de gemiddelde schade optreedt dan is het risico voor stedelijk gebied 3,3 M€. Dat is ruim een factor 7 lager dan het risico geschat in voor de EU ROR. Ook een vergelijking voor Woerden laat zien dat de berekende schade daar factoren groter is dan de schades van verzekeraars bij vergelijkbare situaties. De schade bij stedelijk gebied is nog erg gevoelig voor de gehanteerde inschattingen en modellen. Aanbevolen wordt om dit beter te bepalen omdat anders de bijdrage t.o.v. andere watersystemen nauwelijks bepaald kan worden.

SCHADEMODEL

Voor de polder Nieuwkoop is gekeken naar de invloed van verschillende schademodelen. Er is een vergelijking gemaakt tussen SSM2017 en de Waterschadeschatter (met een veronderstelde duur van 1 uur waterbezwaar en zonder hersteltijd). In Tabel 49 zijn de resultaten opgenomen en is de belangrijkste parameter benoemd die bijdraagt aan de schade. Op basis van SSM is de landbouwschade de belangrijkste post. In de Waterschadeschatter is de industrie functie de belangrijkste functie. Bij deze schadepost kunnen wel kanttekeningen worden gesteld omdat schades aan deze vormen van grondgebruik nog niet in de lijn der verwachting liggen bij deze gebeurtenis. Dat er geen schade aan landbouw ontstaat, is ook het gevolg van de gekozen duur. Bij deze overlastduur treedt volgens Waterschadeschatter nog geen schade op bij de gewassen (zie Figuur 35).

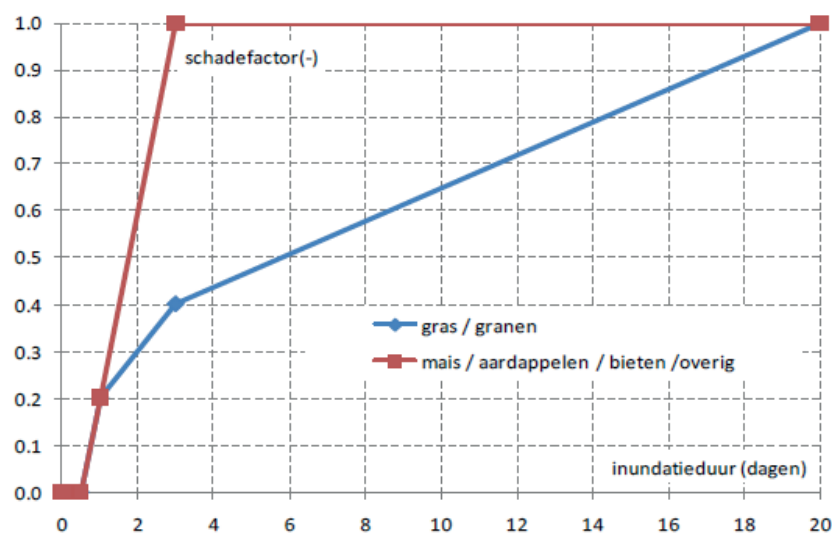
TABEL 49

VERGELIJKING SCHADEMODELLEN VOOR NIEUWKOOP

	Schade	Belangrijkste schadepost
SSM2017	€ 237.000	Landbouw (€ 198k)
Waterschadeschatter	€ 112.000	Industriefunctie (€ 90k)

FIGUUR 35

RELATIE SCHADEFACTOR EN INUNDATIEDUUR VOOR GEWASSEN IN DE WATERSCHADE-SCHATTER



BIJLAGE C

CASE OBJECT – DATACENTRUM

C.1 SCOPE EN SYSTEEMBESCHRIJVING

In deze case kijken we naar een polder waarin een waardevol object wordt geplaatst: een datacentrum van 40.000m². Dit object kan leiden tot werkgelegenheid en economische ontwikkeling in de omgeving. Echter dit object kan ook leiden tot een extra schade in geval van waterbezwaar en zo tot extra investeringen in het watersysteem. In deze case staat een fictief object op een fictieve locatie centraal.

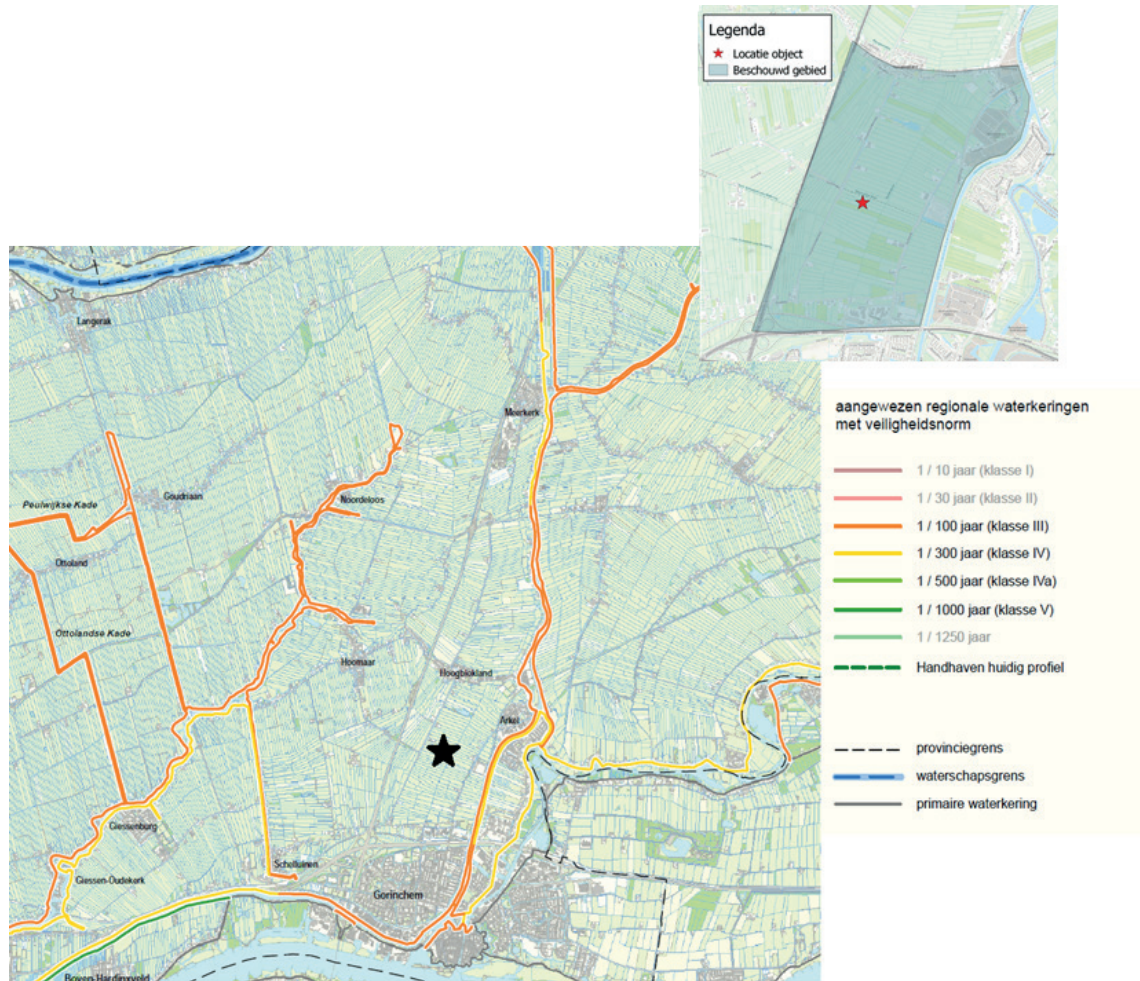
C.1.1 DE TECHNISCHE WERKING VAN HET WATERSYSTEEM

Als fictieve locatie is een polder net buiten Gorinchem (gelegen langs de Waal) gekozen waar waterbezwaar kan optreden door zowel extreme neerslag als doorbraken van primaire en regionale waterkeringen. Op de locatie waar het object gepland, bevindt zich nu akkerland. Het watersysteem voldoet aan de normering. Door extreme neerslag is er orde grootte 1/50 pj wateroverlast; dat vormt in de huidige situatie echter geen probleem vanwege het grondgebruik. De huidige norm voor de regionale waterkering is een klasse III (gelijk aan overschrijdingskans van de waterstand van 1/100 pj). De regionale kering heeft een lengte van 10 kilometer.

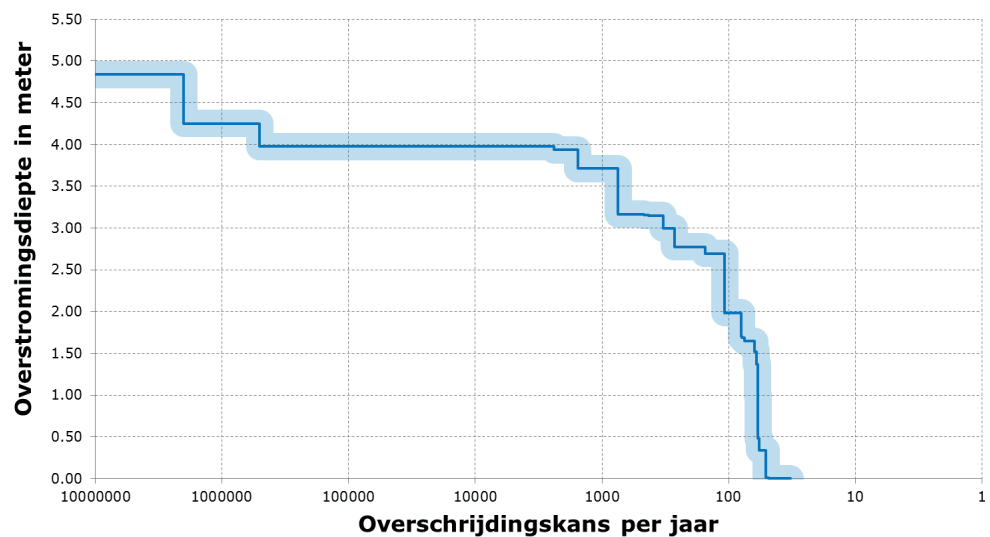
In Figuur 37 is voor de locatie van het fictieve object de relatie tussen de overschrijdingskans van de lokale waterdiepte (het waterbezwaar) en de terugkeertijd opgenomen (het overstromingsrisicoprofiel) voor de huidige situatie. Waterbezwaar treedt op in geval van:

- Extreme neerslag (enkele centimeters)
- Doorbraken regionale waterkeringen (enkele decimeters)
- Doorbraken van primaire waterkeringen (variërend van één tot enkele meters).

FIGUUR 36 LOCATIE FICTIEF DATACENTRUM



FIGUUR 37 WATERBEZWAAR FICTIEF OBJECT: OVERSTROMINGS-RISICOPROFIEL



Maatregelen kunnen worden genomen aan het watersysteem, in de ruimtelijke omgeving of door middel van crisisbeheersing. Maatregelen kunnen ook worden genomen aan het watersysteem. In deze case kijken we naar de effectiviteit van verschillende maatregelen en onderliggende aannames.

C.1.2 BETROKKEN STAKEHOLDERS

In deze case komen de volgende stakeholders samen:

- De waterbeheerder (het waterschap). Deze wordt geconfronteerd met ontwikkelingen in het gebied die van invloed zijn op de eisen aan het watersysteem:
 - Extreme neerslag: het grondgebruik verandert waardoor andere eisen worden gesteld.
 - Waterkeringen: door de waardetoeename in de polder kan de eis aan de regionale kering strenger worden.
- Vanuit de openbare ruimte:
 - Voor de gemeente en provincie vindt er een ontwikkeling plaats die allerlei positieve effecten kan hebben op de economie, werkgelegenheid etc. We benoemen de rol als vergunningverlener en ruimtelijke planner.
 - De eigenaar (of gebruiker) van het object zelf die zelfstandig kan kiezen voor aanvullende maatregelen.
- Vanuit de crisisbeheersing is er de mogelijkheid om in geval van een dreiging maatregelen te treffen. We onderscheiden:
 - Het waterschap, om de kans op falen te verkleinen en informatie te verschaffen over een dreiging.
 - De veiligheidsregio (minimaal voor waarschuwingen), om de gevolgen te verkleinen en informatie te verschaffen.
 - De beheerder zelf.

FIGUUR 38

FACETTEN INTEGRALE RISICOANALYSE IN CASE OBJECT

	Stedelijk	Regionaal watersysteem	Regionale keringen	Primaire keringen
Watersysteem		✓	✓	
Openbare ruimte		✓	✓	✓
Crisisbeheersing		✓	✓	✓

C.1.3 REFERENTIESITUATIE EN MAATREGELEN

Op deze locatie wordt een datacentrum (als fictief object) aangelegd, wat ertoe leidt dat de waarde in dit gebied toeneemt. Hierdoor neemt ook de schade als gevolg van waterbezwaar toe en wordt niet meer voldaan aan de normen voor de watersystemen:

- Extreme neerslag (normering regionale wateroverlast): In de nieuwe situatie wordt de locatie beschouwd als bebouwd gebied. De vigerende norm voor bebouwd gebied is 1/100 p.j. voor extreme gebiedsneerslag. Het watersysteem voldoet zodoende niet meer aan de eisen. De extra schade is 50 M€.
- Regionale waterkeringen: Het object kan overstromen in geval van een doorbraak van een regionale kering. De schade in de polder neemt toe. De extra schade is 350 M€. De normklasse stijgt van III naar V (overschrijdingskans van de waterstand van 1/1.000 pj).
- De schade bij een doorbraak van een primaire waterkering neemt ook toe met 350 M€, echter dat heeft geen effect op de normering van primaire waterkeringen.

MAATREGELEN

Om het risico te verlagen kunnen er maatregelen getroffen worden. We onderzoeken de volgende varianten:

- Ruimtelijke ingrepen, waardoor er minder schade optreedt aan het object (denk aan verhoogd aanleggen, dry- en wetproofing, kwetsbare onderdelen op hogere verdiepingen).
- Vergroten afvoercapaciteit van het watersysteem (vergroten van gemalen).
- Versterken van regionale waterkeringen (verbreden en verhogen).
- Crisisbeheersingsmaatregelen door evacueren van waardevolle spullen en overnemen van bedrijfsprocessen elders. Hierdoor neemt de schade af door wateroverlast, waardoor de norm voor regionale waterkering slechts naar klasse IV gaat.

C.2 METHODIEK EN BASISINFORMATIE

In deze fictieve case is zoveel mogelijk uitgegaan van beschikbare informatie over waterrisico's. Deze zijn aangevuld met aannames om de integrale risicoanalyse uit te kunnen rekenen. Er zijn dus geen hydraulische analyses uitgevoerd maar er is een fictieve situatie gecreëerd.

TABEL 50 EFFECT VAN EEN DOOR BELASTINGEN CASE OBJECT

Type systeem	Huidige situatie	Effect door plaatsing object
Regionale waterkeringen	De regionale waterkering heeft een veronderstelde norm horende bij klasse III (overschrijdingskans waterstand 1/100 p.j.).	Door plaatsing object neemt de schade toe met 350 M€. De nieuwe norm is klasse V (overschrijdingskans waterstand 1/1.000 p.j.).
Regionaal watersysteem	Er is nu akkerland op de locatie van het object. Wateroverlast treedt op 1/50 p.j. waarmee aan de norm wordt voldaan. Daarnaast veronderstellen we dat de overstromingskans 5x kleiner is dan de overschrijdingskans van de waterstand.	Het grondgebruik verandert van akkerbouw naar bebouwd. Ook is er extra verharding. Er wordt niet aan de norm voldaan. Bij een T100 neerslaggebeurtenis is de verwachte schade 50 M€.
Stedelijk watersysteem	N.v.t.	Piekbuilen leiden niet tot wateroverlast.
Primaire waterkeringen	De locatie ligt in een polder, die kan overstromen.	De totale schade bij een dijkdoorbraak in de gehele polder stijgt met 350 M€. De totale stijging van de schade-eis is minder dan een factor 3 (gelijk aan normklasse). Vanwege de omvang van de polder is deze stijging niet significant en heeft dus geen effect op de normklasse. Wel kan het object zelf flinke schade ondervinden. De kosten voor de beheerder zijn geraamd op 350 M€.

C.3 INTEGRALE RISICOANALYSE

In de integrale risicoanalyse is alleen gekeken naar doorbraken van regionale waterkeringen en extreme neerslag, omdat hiervoor maatregelen kunnen worden genomen.

C.3.1 KWANTIFICERING SCHADE EN RISICO

In Tabel 51 is de netto contante waarde van het risico per watersysteem opgenomen. We zijn hierbij uitgegaan van een periode van 50 jaar en een discontovoet van 4%. Hierbij is de toename van het risico gepresenteerd.

TABEL 51 TOENAME NETTO CONTANTE WAARDE VAN HET RISICO

	Met object	
	Schade (M€)	Contante waarde Risico (M€)
Extreme neerslag	50 (bij T100)	10
Regionale keringen	350 (bij T500)	14

C.3.2 KOSTEN VAN MAATREGELLEN

De kosten van maatregelen zijn als volgt geraamd:

- Dijkversterking: De kosten voor dijkversterking zijn 0.3 M€ per kilometer (gebaseerd op een kental van Rijnland voor het ophogen van een groene kade en het aanvullen van het talud). De waterkering zelf is 10 kilometer.
- Watersysteem - vergroten afvoercapaciteit watersysteem. We zijn uitgaan van gemiddelde kosten voor een gemaal van 1 m³/s. Uitgaande van 1300 ha en een diepte van gemiddelde 10 mm die in 1 dag wordt weggepompt, betekent dat een extra benodigde gemaalcapaciteit van 1,5 m³/s. We veronderstellen dat door de inzet van deze extra gemaalcapaciteit de schade in de rest van de polder met 20% daalt.
- Anders inrichten/ontwerpen. De kosten voor het ophogen met 1 meter bedragen 30 € per m² (bron: ECK-kostenkental). Door ophogen met 0,5 meter wordt de schade als gevolg van doorbraken van regionale waterkeringen voorkomen. We gaan er vanuit dat andere ruimtelijke maatregelen grofweg gelijke of hogere kosten hebben.
- Crisisbeheersing. Door organisatorische maatregelen is verondersteld dat de schade met 30% kan worden gereduceerd. De kosten van crisisbeheersing zijn 5.000 € per jaar. Als gevolg hiervan wordt de norm voor de regionale kering klasse IV en worden de kosten voor de dijkversterking gehalveerd.

De maatregelen zijn hierboven afzonderlijk beschouwd, waarbij opgemerkt wordt dat dan soms nog niet aan de normen voor het watersysteem of regionale keringen wordt voldaan. Daarom moeten de maatregelen aan het watersysteem en waterkeringen ook in combinatie beschouwd worden.

C.3.3 TOTALE KOSTEN

In Tabel 31 is een overzicht opgenomen van de risico's, de kosten van de maatregelen en de totale kosten. In dit overzicht is onderscheid gemaakt naar de verschillende componenten van de integrale risicoanalyse.

TABEL 52 OVERZICHT RISICO'S, KOSTEN EN TOTALE KOSTEN

	Referentie	Dijkversterking	Extra gemaal	Ruimtelijke inrichting	Dijkversterking en extra gemaal	Crisis-beheersing
Totale NCW Risico	154	13.4	143.8	3.8	3.4	107.7
NCW Risico watersysteem	12	12	1.8	2.2	1.8	8.5
NCW risico regionale keringen	142	1.4	142	1.6	1.6	99
Kosten		3	1.5	40	4.5	0.1
Kosten dijkversterking		3			3	
Kosten gemaal			1.5		1.5	
Kosten ruimtelijke inrichting				40		
Kosten crisisbeheersing						0.1
Totale kosten	154	16.4	145.3	43.8	7.9	107.8

C.4 GEVOELIGHEIDSANALYSE

De uitwerking wordt sterk gedomineerd uiteraard door de gekozen waarden. Daarom zijn er ook enkele gevoeligheden beschouwd:

- De afschrijvingstermijn van het object;
- Gevoeligheid voor schades en kosten en omslagpunten.

DE AFSCHRIJVINGSTERMIJN VAN HET OBJECT

Het effect van een andere afschrijvingstermijn voor de totale kosten (dus het risico en investeringen) voor het datacentrum is in Tabel 53 opgenomen. Hierbij is gekeken naar een termijn van 50, 10, 2 en 1 jaar. Naarmate de producten sneller vervangen worden (en er dus minder restwaarde is) neemt de kosteneffectiviteit van preventieve maatregelen af.

TABEL 53 TOTALE KOSTEN BIJ VERSCHILLENDE AFSCHRIJVINGSTERMIJN VOOR HET OBJECT

Totale kosten	Referentie	Dijkversterking	Extra gemaal	Ruimtelijke inrichting	Dijkversterking en extra gemaal	Crisisbeheersing
Termijn 50 jaar	154	17	145	14	8	108
Termijn 10 jaar	63	9	60	12	6	44
Termijn 2 jaar	15	4	16	10	5	11
Termijn 1 jaar	8	4	9	10	5	5

GEVOELIGHEID VOOR SCHADES EN KOSTEN EN OMSLAGPUNTEN

Aan de hand van de gevoeligheid in risico's en kosten van maatregelen laten we zien dat er omslagpunten zijn waarbij, afhankelijk van de omvang van de schade of kosten, bepaalde maatregelen wel of niet rendabel zijn. Zo is er gekeken naar:

- Schade door extreme neerslag (Tabel 54);
- Schade door een dijkdoorbraak (Tabel 55); hierbij is ook rekening gehouden met een andere normklasse;
- Kosten van dijkversterking (Tabel 56);
- Kosten van ruimtelijke maatregelen (Tabel 57).

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn opgenomen in de volgende tabellen. De cellen die oranje zijn ingekleurd zijn minder rendabel dan de referentie (zie Tabel 51). De groene cellen zijn het meest kosteneffectief van de beschouwde varianten.

Duidelijk is te zien dat er omslagpunten zijn. Daar waar de kosten of schades van maatregelen een bepaalde grens overschrijden worden andere maatregelen in andere watersystemen, of in andere componenten (het watersysteem, de ruimtelijke inrichting of de crisisbeheersing) aantrekkelijker. De lokale omstandigheden (zoals het risicobeeld) en de kosten van het object zijn hierbij bepalend.

Voor het uitgewerkte voorbeeld blijkt dat de ruimtelijke ingrepen vaak veel kosteneffectiever zijn dan ingrepen in het watersysteem. Echter, als de ingrepen te kostbaar worden, is ook hier een duidelijk omslagpunt waarneembaar.

TABEL 54 OMSLAGPUNT BIJ VARIANTIE IN SCHADE DOOR EXTREME NEERSLAG

Schade a.g.v. extreme neerslag bij plaatsing object [M€]	Referentie	Dijkversterking	Totale kosten [M€]			
			Extra gemaal	Ruimtelijke inrichting	Dijkversterking en extra gemaal	Crisisbeheersing
1	144	7	145	14	8	101
5	145	8	145	14	8	101
10	146	9	145	14	8	102
30	150	13	145	14	8	105
50	154	17	145	14	8	108

TABEL 55 OMSLAGPUNT BIJ VARIANTIE IN SCHADE DOOR DIJKDOORBRAAK (REKENING HOUDEND MET ANDERE NORMKLASSE VANWEGE DEZE SCHADEVERANDERING)

Schade als gevolg van een dijkdoorbraak [M€] (met tussen haakjes de bijhorende norm)	Referentie	Dijkversterking	Totale kosten [M€]			Crisisbeheersing
			Extra gemaal	Ruimtelijke inrichting	Dijkversterking en extra gemaal	
10 (30)	18	17	9	14	8	13
25 (100)	24	16	15	14	8	17
50 (300)	34	17	25	14	8	24
100 (300)	54	17	45	14	8	38
150 (300)	74	17	65	14	8	52
250 (1000)	114	16	105	14	8	80
350 (1000)	154	17	145	14	8	108

TABEL 56 OMSLAGPUNT BIJ VARIANTIE IN KOSTEN DIJKVERSTERKING

Kosten dijkversterking [M€]	Referentie	Dijkversterking	Totale kosten [M€]			Crisisbeheersing
			Extra gemaal	Ruimtelijke inrichting	Dijkversterking en extra gemaal	
1.0	154	15	145	14	6	108
2.0	154	16	145	14	7	108
3.0	154	17	145	14	8	108
10	154	24	145	14	15	108

TABEL 57 OMSLAGPUNT BIJ VARIANTIE IN KOSTEN RUIMTELIJKE MAATREGELEN

Kosten ruimtelijke ingreep [M€]	Referentie	Dijkversterking	Totale kosten [M€]			Crisisbeheersing
			Extra gemaal	Ruimtelijke inrichting	Dijkversterking en extra gemaal	
0.6 (15 € / m ²)	154	17	145	4	8	108
1.2 (30 € / m ²)	154	17	145	5	8	108
4.0 (100 € / m ²)	154	17	145	8	8	108
10.0 (250 € / m ²)	154	17	145	14	8	108
20.0 (500 € / m ²)	154	17	145	24	8	108
40.0 (1.000 € / m ²)	154	17	145	44	8	108

BIJLAGE D

CASE BREDA

D.1 SCOPE EN SYSTEEMBESCHRIJVING

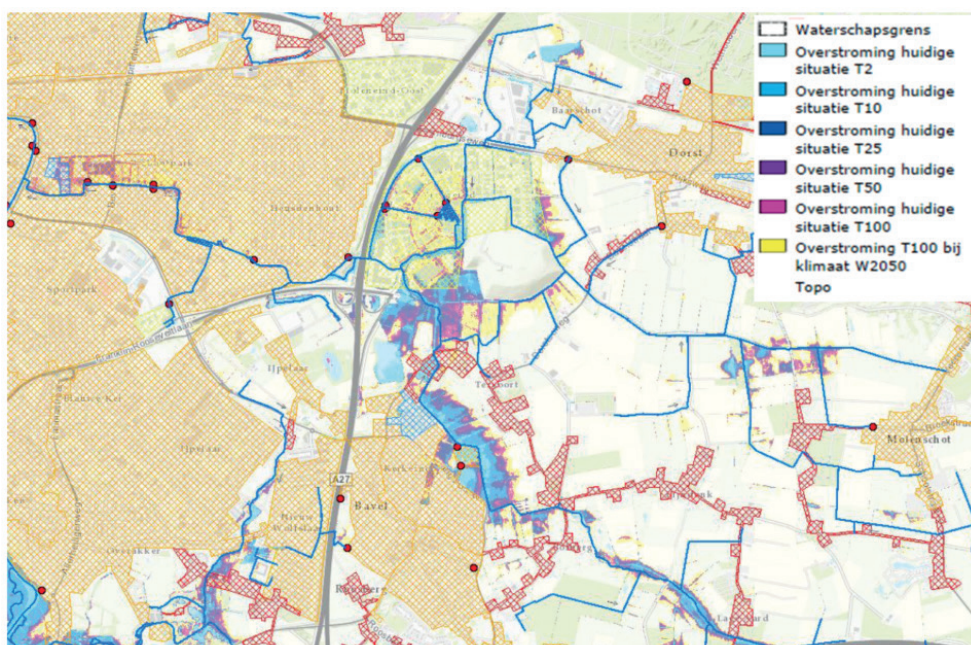
In de case voor Breda is gekeken naar de interactie tussen het regionale watersysteem (stroomgebied Molenleij) en het stedelijk watersysteem rondom Breda en Bavel op basis van de integrale risicobenadering.

In het stroomgebied bevinden zich ook overlaten waardoor interactie tussen het stedelijk en landelijk watersysteem kan ontstaan. De volgende mogelijke interacties zijn benoemd:

- Extreme afvoer via de beek die leidt tot overlast in de stedelijke omgeving. Het water kan via maaiveld stromen maar ook de riolering kan het water uit de beek 'de stad in' transporteren.
- Indien er ook neerslag is in de stad zal deze lastiger tot afstroming komen als de 'buitenwaterstand' (bij verdrongen overstort) hoog is.

Het is voor belanghebbenden wenselijk om inzicht te hebben in het risico op wateroverlast en de mate waarin en de manier waarop dit kan worden verminderd. Voor het reduceren van het risico kunnen maatregelen genomen worden. Als interactie tussen verschillende systemen een rol speelt, kan dat in de maatregelen worden meegenomen om zo tot meer doelmatige maatregelen te komen. Dit is wenselijk om het risico en de mogelijke baten bij het nemen van een maatregel juist te kunnen schatten, waarbij de interactie correct is meegenomen. Eén van de vragen is of de interacties, die in theorie tussen deze systemen bestaan, ook relevant zijn voor de beslisproblemen.

FIGUUR 39 OVERSTROMINGS-CONTOUREN PROJECTGEBIED. MET DAARIN OMCIRKELD DE DEELGEBIEDEN BREDA (LINKS BOVEN) EN BAVEL (RECHTS MIDDEN). DE RODE PUNTEN GEVEN DE LOCATIES VAN DE OVERSTORTEN WEER



Er is een kans op wateroverlast in het stedelijke gebied van Breda (deelgebied Breda) en in het stedelijke en landelijke gebied in en rond Bavel (deelgebied Bavel). Dit zijn gebieden gelegen in het stroomgebied van de Molenleij en waarlangs ook overstorten van het stedelijk systeem staan. Het doel van deze case is een afweging maken of het doelmatig is om het risico op wateroverlast met maatregelen te beperken, waarbij de volgende vragen worden beantwoord:

1. Hoe groot is het totale risico op wateroverlast?
2. In welke mate wordt de wateroverlast veroorzaakt door het regionale systeem en in welke mate door het stedelijk systeem?
3. In welke mate kan het risico met maatregelen in ofwel regionaal systeem ofwel rioolstelsel worden verminderd?

Het projectgebied waarvoor het integrale risico wordt bepaald is in samenspraak met de gemeente en waterschap afgebakend tot het gebied waar wateroverlast vanuit het regionale watersysteem of het stedelijk watersysteem wordt verwacht. Als er uiteindelijk een maatregel ontworpen wordt, dient er een extra analyse te worden gedaan om te bepalen of deze afbakening van het stedelijk gebied correct is.

D.1.1 DE TECHNISCHE WERKING VAN HET WATERSYSTEEM

Het stroomgebied van de Molenleij ligt in de driehoek tussen Breda, Rijen en Gilze en bestaat uit twee beken, die bij de Bavelse Berg samen komen tot de stadsbeek Molenleij. Bovenstrooms van de Bavelse Berg stroomt de Gilzewouwerbeek langs Bavel, waar retentievijver 'Groene Long' gelegen is (dienend voor het stedelijk watersysteem).

Het stedelijk watersysteem wordt veelal ontworpen op basisgebeurtenissen met een relatief hoge kans, waarbij één of enkele keren kortdurend water op straat per jaar zonder ernstige hinder of schade acceptabel wordt gevonden. Tot enkele jaren terug werd het stedelijk watersysteem slechts getoetst op standaardbuien met een theoretische herhalingsjijd van 1, 2 of maximaal 5 jaar. Bij gebeurtenissen met een frequentie van 1/25 tot 1/50 jaar wordt waterhinder geaccepteerd, maar wordt er geprobeerd schade te voorkomen. In de praktijk zijn veel gemeentes nog niet zo ver. Vanuit het regionale watersysteem ligt de focus op meer extreme gebeurtenissen, afhankelijk van het grondgebruik. De vigerende norm voor het regionale watersysteem grenzend aan het bebouwd gebied is 1/100 per jaar voor overstrooming van oppervlaktewater ter plaatse van gebouwen of belangrijke infrastructuur.

De Molenleij is een vrij afwaterend gebied, dat over een stuw afwatert op de singel in Breda. Het waterpeil en debiet in de beken fluctueert sterk en in droge zomers staan de beken deels droog. De beken ontstaan in het landelijke gebied (waar o.a. akkers en boomteelten gelegen zijn), waarna het verder benedenstrooms door/langs stedelijk gebied stroomt. Op verschillende locaties in het stroomgebied van de Molenleij vindt mogelijk interactie plaats tussen de beken (regionaal water systeem) en het stedelijk watersysteem. Verschillende overstorten lozen stedelijk water op de oppervlaktewater van de beken, wat enkele keren per jaar voorkomt, wanneer het af te voeren regenwater de capaciteit van het riool overschrijdt.

In Figuur 40 zijn de locaties van de overstorten in de wijk Brabantpark (ook wel Centrum Breda genoemd in deze studie) in Breda weergegeven en nabij de zogenaamde Groene Long. De Groene Long is een retentievoorziening voor het rioolwater vanuit het gemengde stelsel. Nu vindt er uitsluitend interactie met het oppervlaktewater plaats door een kleine duiker

(300 mm) en indien de waterstanden hoger komen te staan dan de ophogingen rond de Groene Long. In Tabel 58 zijn de hoogtes van de overstorten opgenomen.

FIGUUR 40 OVERSTORTEN IN WIJK BRABANTPARK VAN BREDA (LINKS) EN BIJ DE GROENE LONG TEN OOSTEN VAN BAVEL (RECHTS). KLEUREN GEVEN INUNDATIEPATROON AAN BIJ VERSCHILLENDE TERUGKEERTIJDEN (ZOALS IN EERDER FIGUUR)



TABEL 58 DREMPELHOOGTES OVERSTORTEN

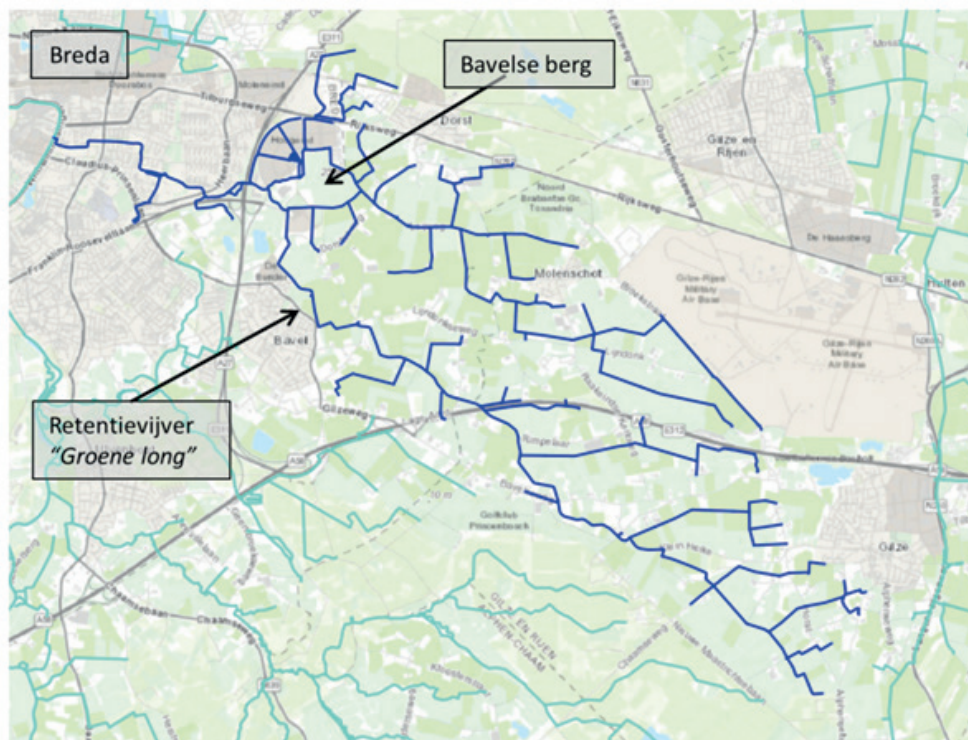
Nr.	Drempelhoogtes overstorten centrum Breda	Drempelhoogtes overstorten Groene Long
	[m+NAP]	[m+NAP]
1	1.25	3.14
2	1.51	3.55
3	1.1	
4	1.2	
5	1.52	
6	1.77	

Er zijn in het verleden in een watersysteemanalyse een drietal knelpunten voor wateroverlast gedefinieerd (Figuur 41). Daarnaast is de vraag of de interactie tussen de beek en afvoer via overstorten nog leidt tot extra knelpunten.

1. De zone rond Bavelse Berg waar een evenemententerrein en industrieterrein gelegen is. De komende jaren zal dit terrein verder worden uitgebreid. Het plan is (op papier) waterneutraal ingericht, wat betekent dat evenemententerrein verhoogd is aangelegd. Het terrein voldoet aan de NBW-normen. Verwacht wordt dat de ruimtelijke inrichting er toe leidt dat hier geen wateroverlast ontstaat en dit gebied wordt buiten beschouwing gelaten in deze analyse.
2. Aan de zuidoostkant van Breda ligt Bavel, waarlangs de Gilzewouwerbeek stroomt. Bij zware regenval overstromen de zones aan de oostkant van Bavel tussen de Gilzewouwerbeek en het dorp Bavel door neerslagafstroming vanaf bovenstrooms. Langs deze beek ligt een retentie-vijver (de Groene Long) waar overstorten van het stedelijk watersysteem kunnen lozen bij hevige kortdurende neerslag. Deze overstorten hebben geen kleppen, waardoor er bij hoge waterstanden in deze vijvers en door hoge afvoeren in de beek ongewenste interactie ontstaat tussen oppervlaktewater en de riolering in het dorp. Dit is een probleem, omdat waterzuiveringsbedrijven het liefst zo min mogelijk schoon hemelwater in de riolering laten stromen.
3. Na de samenkomst van de verschillende beken bij de Bavelse berg stroomt het water via de stadsbeek Molenleij door de wijk Brabantpark in Breda richting de singel. Bij hevige regenval staat de stadsbeek Molenleij vol tot aan de lage kades in het park. De gemeente en het waterschap zijn bang voor wateroverlast in dit sterk stedelijk gebied waar ook overstorten lozen op de stadsbeek.

FIGUUR 41

KNELPUNTEN WATERSYSTEEM-ANALYSE MOLENLEIJ



D.1.2 BETROKKEN STAKEHOLDERS

In deze case komen de volgende stakeholders samen:

- De waterbeheerder (het waterschap). Het gaat hierbij vooral om de afwatering van de verschillende beken in het stroomgebied de Molenleij en de eisen die gesteld worden voor waterbezwaar. Er zijn geen aangewezen waterkeringen.
- De gemeente als beheerder van de riolering en de overstorten (het stedelijke watersysteem).

D.1.3 REFERENTIESITUATIE EN MAATREGELEN

De referentiesituatie is de huidige situatie van het watersysteem. In deze case is beperkt onderzoek gedaan naar maatregelen gezien de geringe interactie die is geconstateerd. Het effect van mogelijke maatregelen op het risico is niet gekwantificeerd, maar deze worden wel kwalitatief beschouwd.

D.2 METHODIEK EN BASISINFORMATIE

De integrale risicoanalyse wordt gekeken naar verschillende elementen in de beschouwde watersystemen. Het gaat hierbij om wateroverlast in stedelijk en landelijk gebied door extreme neerslag. Het risico op doorbreken van primaire of regionale waterkeringen speelt hier niet.

De effecten op waterstanden en overstromingsdieptes als gevolg van extreme neerslag zijn bepaald aan de hand van waterhuishoudkundige modellen waarin het gebied is geschematiseerd. Het waterbezwaar is bepaald aan de hand van scenario's waarvoor de belastingen (als de neerslag), randvoorwaarden (als de begintoestand van de bodem) en correlaties zijn bepaald. Op basis van het waterbezwaar zijn de effecten bepaald, in dit geval de schades en het risico.

D.2.1 BELASTINGEN EN RANDVOORWAARDEN

De belastingen zijn neerslaggebeurtenissen, die zowel in het regionale watersysteem als het stedelijk watersysteem kunnen leiden tot wateroverlast. Om de natuurlijke variabiliteit van deze neerslaggebeurtenissen te benaderen worden er gebeurtenissen gekozen die representatief zijn voor een bepaalde kans van voorkomen. We zijn geïnteresseerd in een compleet beeld van het risico op wateroverlast in een bepaald gebied, wat betekent dat we analyses moet doen in een breed bereik van herhalingstijden. Omdat je niet oneindig veel berekeningen kunt doen moet je slimme keuzes maken in de range die de verschillende factoren kunnen aannemen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van:

- De nieuwe neerslagstatistiek (STOWA, 2019)
- Metingen van 10 minuten waarden van verschillende (vergelijkbare) stations waarmee een langjarige reeks is samengesteld (poolen).
- Voor de bepaling van de schade als gevolg van langdurig extreme neerslag is gebruik gemaakt van de NBW-toetsing waarin composiet hydrogrammen zijn doorgerekend met een hydraulisch model van de Molenleij (Witteveen&Bos, 2018).
- Neerslaggebeurtenissen van korte duur (STOWA, 2019) voor het stedelijk watersysteem die worden doorgerekend met een model voor het stedelijk gebied.

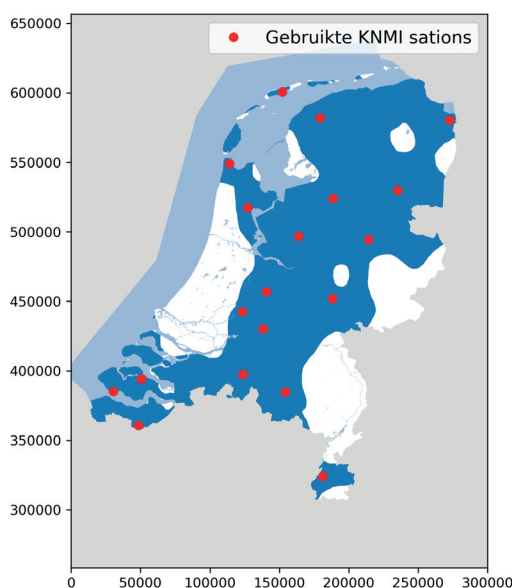
Voor het beheergebied van Brabantse Delta geldt hetzelfde 'neerslagregime' als De Bilt en zo wordt het 'gematigde neerslagregime' gebruikt van de statistiek gebruikt.

SAMENGESTELDE REEKS VAN 10 MINUTEN WAARDEN

Bij de risicobenadering is de correlatie tussen het regionale watersysteem en het stedelijk watersysteem onderzocht. Over het algemeen worden de twee systemen onafhankelijk van elkaar beschouwd en deze aanname is nader bekeken. Uit eerdere studies blijkt dat de wateroverlast die optreedt in de twee systemen reageren op verschillende neerslagduren. De relevante neerslag behorend bij de duren kan mogelijk in dezelfde neerslaggebeurtenis vallen. Om dit te onderzoeken is een analyse uitgevoerd op een gepoolde (samengestelde) neerslagreeksen van 10-minuten waarden afkomstig van automatische neerslagstations. Deze neerslagreeksen van de stations met gelijke neerslagregimes kunnen gezamenlijk beschouwd worden om zo een langjarige reeks te vormen, waardoor we een neerslagreeks van circa 258 jaar genereren met 10 minuten tijdstappen.

FIGUUR 42

GEBRUIKTE NEERSLAGSTATIONS VOOR GEPOOLDE TIJDREEKS



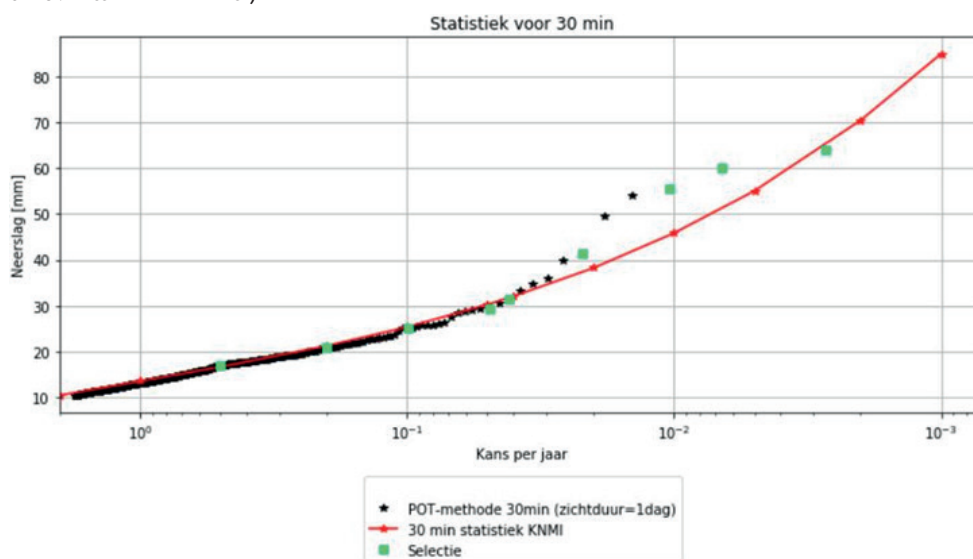
In de gepoolde neerslagreeks selecteren stellen we een selectiecriteria op om relevante gebeurtenissen te selecteren waar interactie kan plaats vinden tussen de watersystemen. Deze criteria zijn gebaseerd op de hoeveelheid neerslag in een bepaalde periode/duur. Op basis van overleg met Gemeente Breda en Waterschap Brabantse Delta zijn de volgende tijdschalen als relevant gekenmerkt voor:

- Stedelijk watersysteem: 10 minuten;
- Regionaal watersysteem: 3 dagen.

STEDELIJK WATERSYSTEEM

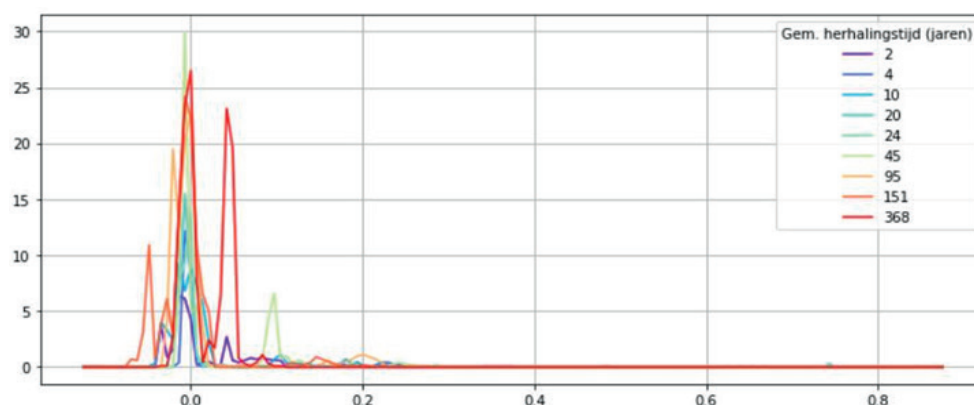
In het stedelijk watersysteem kan overlast ontstaan door korte duur neerslaggebeurtenissen. Het functioneren van de riolering wordt doorgaans beoordeeld met behulp van een kort durende bui met een extreme neerslagintensiteit in een korte duur (veelal de ontwerpbui met een herhalingstijd van $T = 2$ jaar: bui08). Echter om risico's te bepalen voor wateroverlast (bij extreme events) in stedelijk gebied is deze ontwerpbui niet bruikbaar. Bij het stedelijk watersysteem is het lastig om representatieve gebeurtenissen te selecteren, omdat er inundatie kan optreden bij neerslagintensiteiten van verschillende uren waarbij ook het patroon van belang is. In samenspraak met de Gemeente Breda is verondersteld dat de hoeveelheid neerslag dat in een half uur valt representatief is voor wateroverlast in het stedelijk gebied. In totaal zijn er negen gebeurtenissen geselecteerd met allen een bepaalde herhalingstijd, die is gekoppeld aan een volume dat valt in 30 min (Figuur 43). Binnen deze periode van een half uur varieert het patroon van de neerslag. In Figuur 44 zijn de neerslagpatronen weergegeven.

FIGUUR 43 NEERSLAGGEBEURTENISSEN OP BASIS VAN NEERSLAGVOLUMINA IN 30 MIN (DE GROENE STIPPEN REPRESENTEREN DE GEBRUIKTE GEBEURTENISSEN IN DEZE ANALYSE)



FIGUUR 44

NEERSLAGPATTERN VAN DE GEBEURTENISSEN UIT FIGUUR 43. OP DE X-AS STAAT HET AANTAL DAGEN EN OP DE Y-AS HOEEVEELHEID NEERSLAG IN MM PER 10 MINUTEN



D.2.2 MODELLERING

Voor de uitvoering van de studie was er de beschikking over een SOBEK-model (neerslag afvoer en 1D) voor de Molenleij en een Infoworks-model voor het stedelijk gebied. Vanwege de lange rekentijd van het Infoworks-model is slechts een deel van het stedelijk gebied beschouwd. Het betreft het gebied in de wijk Brabantpark van Breda, waarin ook overstromingen kunnen ontstaan uit het regionale watersysteem. Opgemerkt wordt dat in model van het stedelijk systeem alleen de neerslag-afvoer van verharde gebieden is meegenomen. Hiermee is afvoer uit onverhard gebied buiten beschouwing gelaten.

Om de samenhang te onderzoeken van het stedelijke en regionale watersysteem (aan de hand van de samengestelde neerslagreeksen) is het Infoworks-model omgezet naar SOBEK en zijn de modellen samengevoegd tot één model. Met dit model worden de waterstanden bepaald als gevolg van neerslag, op basis van de waterstanden is de schade bepaald met de Waterschadeschatter. De startsituatie van het model (vulling van de reservoirs en de initiële waterstanden) is bepaald op basis van het 75e percentiel voor zomerhalfjaren.

D.2.3 CORRELATIES

Op basis van de 258jarige neerslagreeksen van 10 minuten kan bepaald worden wat de effecten zijn op de waterstand en het risico. De eerste stap is om te kijken naar de correlatie tussen piekneerslag van korte en van lange duur. Hiervoor is de Peak Over Threshold methode gebruikt om gebeurtenissen te selecteren voor een statistische analyse. Als drempelwaarde hebben we de neerslaghoeveelheid gekozen die overeenkomt met een herhalingsperiode van circa één jaar voor zowel korte als voor lange duur. Daarbij wordt een filter toegepast om onafhankelijkheid tussen neerslaggebeurtenissen te garanderen. In deze analyse zijn alleen de neerslaggebeurtenissen met tenminste 24 uur tussen de gebeurtenissen geselecteerd.

TWEE SITUATIES

Omdat het regionale watersysteem hydrologisch gezien trager reageert dan het (verharde) stedelijke watersysteem hebben we onderscheid gemaakt in twee situaties zoals gevisualiseerd in Figuur 45 (gegeven de overschrijding van 10 mm in 1 uur).

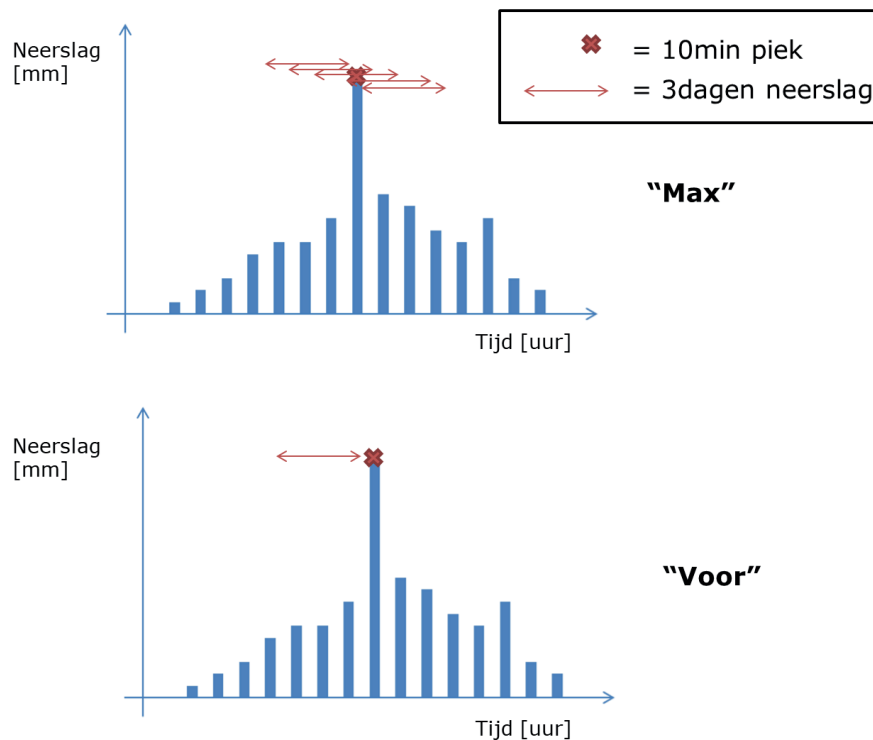
- Lange duur neerslag *voorafgaand* aan korte duur piek;
- Lange duur neerslag *inclusief* de korte duur piek neerslag.

Figuur 46 toont de correlatie tussen neerslag van korte en lange duur op basis van de 258-jarige reeks. In Figuur 47 laten we de gevolgen zien van de keuze of de piekneerslag van

korte duur onderdeel is van een gebeurtenis of niet. Deze figuur laat zien dat in de meeste gebeurtenissen de piekneerslag gedurende korte duur een onderdeel is van de extreme neerslaggebeurtenis van langere duur. Ook laat deze figuur zien dat er relatief weinig gebeurtenissen zijn waarbij een groot neerslagvolume van korte duur wordt gevolgd door piekneerslag van korte duur.

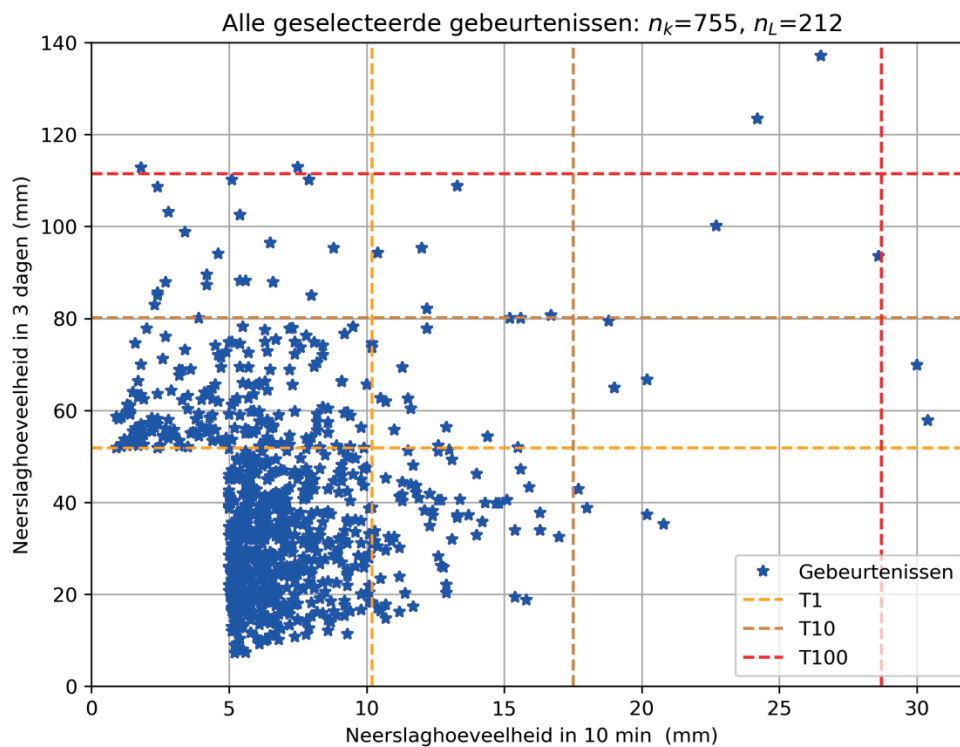
FIGUUR 45

SELECTIE VAN NEERSLAGGEBEURTENISSEN



FIGUUR 46

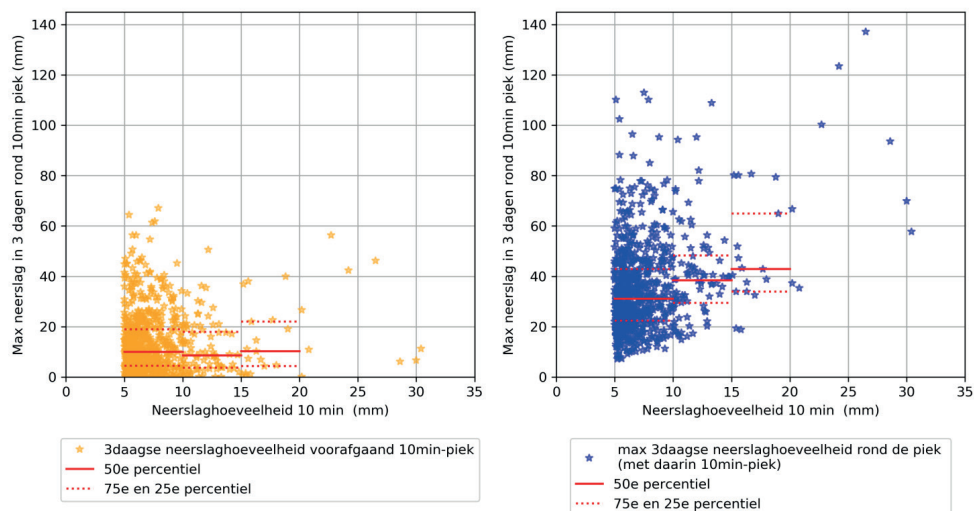
CORRELATIE TUSSEN PIEKNEERSLAG GEDURENDE KORTE EN LANGERE DUUR



FIGUUR 47

SAMENVALLLEN NEERSLAGPIEKEN VAN KORTE EN LANGE DUUR GEGEVEN GEBEURTENISSEN WAARBIJ DE PIEKNEERSLAG WEL OF GEEN ONDERDEEL VORMT VAN DE GEBEURTENIS

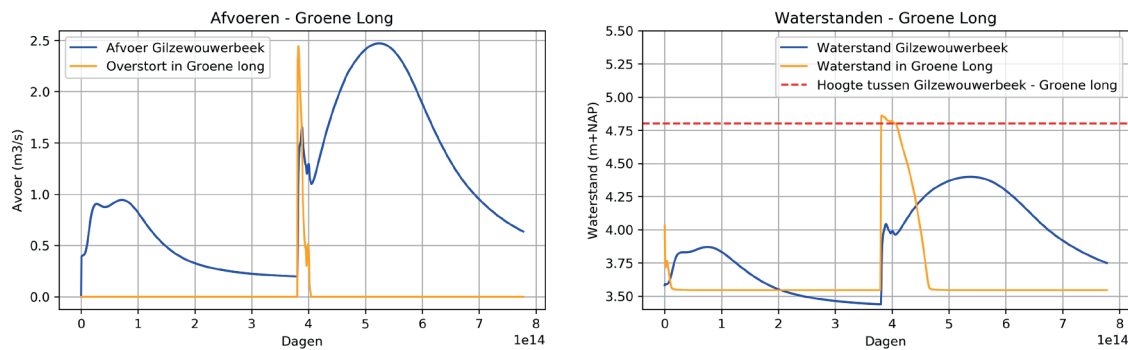
Samenvallen van 10min neerslag en 3daagse neerslaghoeveelheid



De wateroverlast, die optreedt als gevolg van extreme afvoer in de Molenleij, en neerslag in stedelijk gebied versterken elkaar als de neerslag in het landelijk gebied eerder valt dan in de stad. In Figuur 48 is de situatie bij de Groene Long langs de Gilzewouwerbeek weergegeven. Hierin zijn de waterstanden en afvoeren in de Gilzewouwerbeek en de Groene Long en overstorten (waarmee het water ook de Gilzewouwerbeek in kan stromen) gepresenteerd. Hierbij is gebruik gemaakt van het gecombineerde model en de neerslaggebeurtenis van +/- 23 mm in 10 min en +/- 55 mm in 3 dagen. Figuur 47 laat de situatie zien in het centrum van Breda, waar de stadsbeek Molenleij stroomt.

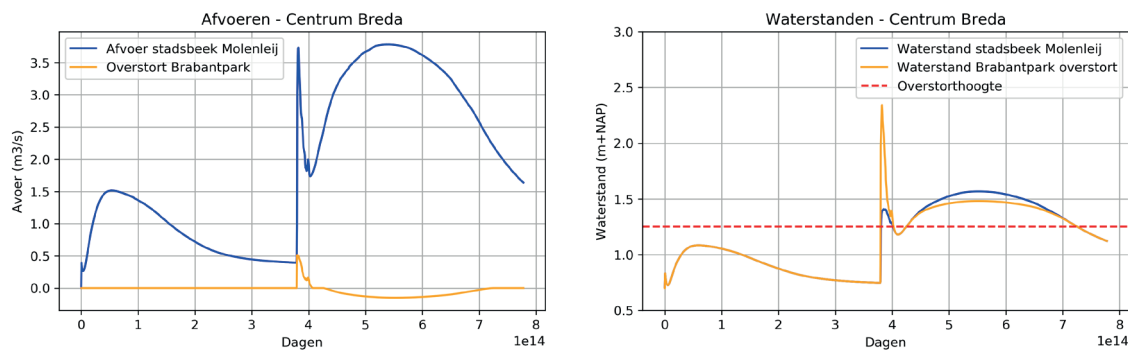
FIGUUR 48

EFFECT OP GROENE LONG



FIGUUR 49

EFFECT VOOR DE WIJK BRABANTPARK IN BREDA



Uit deze analyse volgt dat de interactie tussen het regionale en stedelijke watersysteem in dit gebied voor het eerder benoemde interessante bereik van terugkeertijden vrijwel niet aanwezig is, omdat:

- Er bijna geen neerslag valt voorafgaand een 10 minuten piek; de maximale waterstand in het stedelijke gebied wordt daardoor uitsluitend / hoofdzakelijk bepaald door korte, hevige neerslaggebeurtenissen in stedelijk gebied.
- Er een vertraging in het regionale watersysteem zit, waardoor de neerslag enkele dagen later pas leidt tot hoge waterstanden in de beek. Deze waterstanden zijn hoger dan de waterstanden die door piekafvoeren uit het stedelijk gebied worden veroorzaakt.

Risico's in het stedelijk en regionaal systeem kunnen voor Breda onafhankelijk van elkaar beschouwd worden. Dit houdt in dat beide systemen los van elkaar doorgerekend kunnen worden en de risico's bij elkaar opgeteld mogen worden.

Let op:

- De onafhankelijkheid volgt uit de systeemanalyse voor specifiek het gebied rond Breda. Voor andere gebieden kan de vertraging in het systeem anders zijn en kan er meer interactie plaats vinden.
- Een maatregel in het ene systeem kan ook een risico reducerend effect hebben op het andere systeem. Op deze manier kunnen extra baten behaald worden in het integrale risico rond wateroverlast.

D.2.4 WATERBEZWAAR

Voor de integrale risicoanalyse zijn de componenten voor het regionale en het stedelijke watersysteem dan ook apart uitgewerkt:

- Voor het regionale watersysteem is gebruik gemaakt van de eerder uitgevoerde watersysteemanalyse en de hydrogrammen. Met behulp van het SOBEK-model zijn waterstanden berekend, op basis van Thiessen polygoon methode zijn deze vertaald naar overstromingsrisicokaarten.
- Voor het stedelijke watersysteem zijn schades bepaald voor waterstanden zoals bepaald bij de neerslaggebeurtenissen uit Figuur 43.

D.2.5 EFFECTEN

De effecten van waterbezwaar zijn vertaald in schades. De schades zijn bepaald op basis van het schademodel Waterschadeschatter. Omdat de bebouwing in het watermodel is opgenomen en hierdoor op deze plekken geen water kan komen te staan, zal er geen schade ontstaan ter plaatse van gebouwen. De schade aan bebouwing is gebaseerd op een nabewerking conform de case bij Woerden die is gebaseerd op de uitwerking die in het kader van de ROR is gedaan (Slager 2018). Als voldoende cellen rondom het gebouw zijn overstroomd wordt ook een schade bepaald voor het betreffende object.

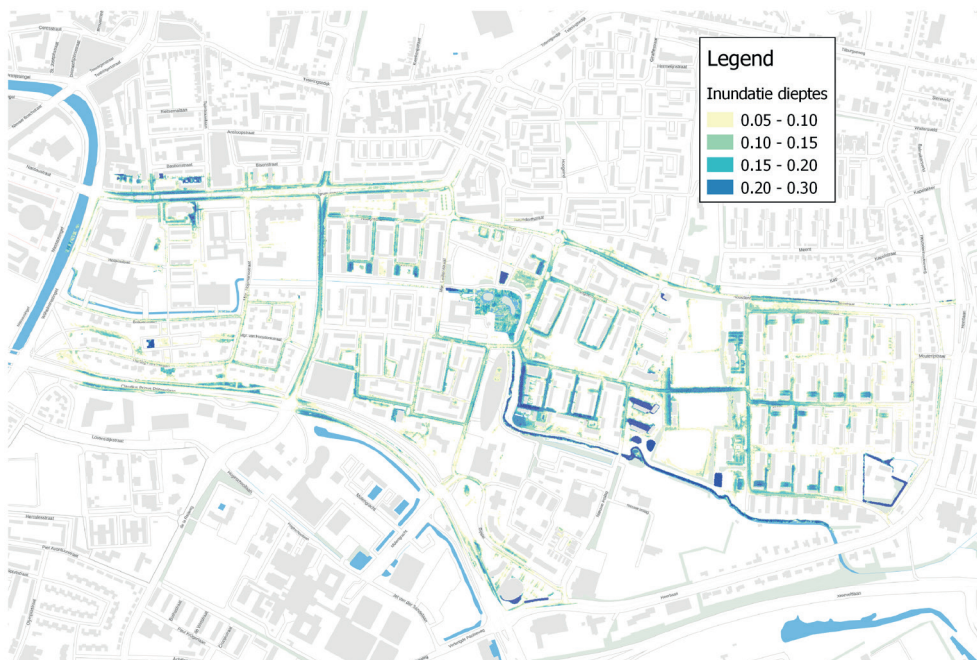
D.3 INTEGRALE RISICOANALYSE

WATERBEELDEN

In onderstaande figuren geven we een indruk hoe de waterbeelden in de stad eruit zien bij. Figuur 50 toont de waterstand bij de meeste extreme bui zoals uitgewerkt voor het stedelijk gebied.

FIGUUR 50

WATERDIEPTES IN BRABANTPARK BIJ DE T368 BUI (EXTREEMSTE DOORGEREKENDE GEBEURTENIS)



Onderstaande figuur geeft een beeld van de waterdieptes die ontstaan bij twee verschillende herhalingstijden door wateroverlast vanuit het regionale watersysteem. In de wijk Brabantpark in Breda zal pas wateroverlast vanuit het regionale watersysteem optreden bij gebeurtenissen met een kleinere kans dan 1/50 per jaar.

FIGUUR 51

WATERDIEPTES BIJ NEERSLAGGEBEURTENISSEN T25 (LINKS) EN T100 (RECHTS) IN HET STROOMGEBIED VAN DE MOLENLEIJ



In Tabel 59 zijn de piekwaterstanden in het regionale watersysteem voor verschillende terugkeertijden gepresenteerd in geval van extreme afvoer via de beken. Op basis van deze waterstanden en overstorthoogtes kan worden geconcludeerd dat deze overstorten verdrongen zijn en water de stad instroomt. Bij het bepalen van de overstromingsbeelden is hier al rekening mee gehouden, de waterstand op de beek is middels een GIS analyse en het AHN al uitgesmeerd over het potentiële overstromingsgebied. Op deze manier zijn de waterdieptes bepaald als gevolg van extreme afvoer.

TABEL 59

WATERSTANDEN BIJ VERSCHILLENDE TERUGKEERTIJDEN BIJ TWEE LOCATIES WAAR OVERSTORTEN BEVINDEN

	Groene Long	Centrum Breda
T10	4.25	1.57
T25	4.35	1.77
T50	4.43	1.91
T100	4.50	2.03

D.3.1 KWANTIFICERING SCHADE EN RISICO

Voor het stedelijk gebied zonder bebouwing is het schaderisico als gevolg van piekbelastingen van het rioleringsstelsel bepaald op 15.5 k€/jaar. Dit risico wordt gedomineerd door de schadepost 'verkeerseiland'. Zo komt de schade bij de T95, T151 en T368 gebeurtenissen voornamelijk van de schadepost 'verkeerseiland' à circa 300 k€. Binnen dit risico is nog geen rekening gehouden met de schade aan gebouwen. Als we schade aan gebouwen opnemen dat stijgt het schaderisico tot 33.5 k€/jaar. Eerder is al opgemerkt dat de berekende schade in stedelijk gebied als (zeer) hoog wordt ervaren.

Voor het stedelijk gebied blijkt dat de herhalingstijd van het neerslagvolume niet een op een gebruikt kan worden om de herhalingstijd van de schade (en dus de waterstand) te bepalen. In Figuur 44 zijn de verschillende neerslagpatronen opgenomen, geconcludeerd is dan ook dat het patroon ook van invloed is op de schade die optreedt. Uit de analyse blijkt dat het neerslagpatroon in de 30 min van grote invloed is op de schade. Schades aan gebouwen bij gebeurtenissen tussen T2 en T24 zijn buiten beschouwing gelaten, omdat 1) de schade stabiel is bij deze gebeurtenissen en 2) de schade niet wordt herkend in de praktijk. We merken daarnaast nog op dat de schade aan bebouwing een (zeer) grote bijdrage aan het risico levert. De aannames die ten grondslag liggen aan deze schadebepaling zijn zodanig dat we voorzichtig met deze schatting om moeten gaan. Zo ontstaat met de gevolgde methodiek pas schade als meer dan 10% rondom het gebouw is overstroomd. De schade is vervolgens bepaald aan de hand van de gemiddelde waterdiepte rondom het gebouw en een drempelwaarde van 15 cm.

TABEL 60

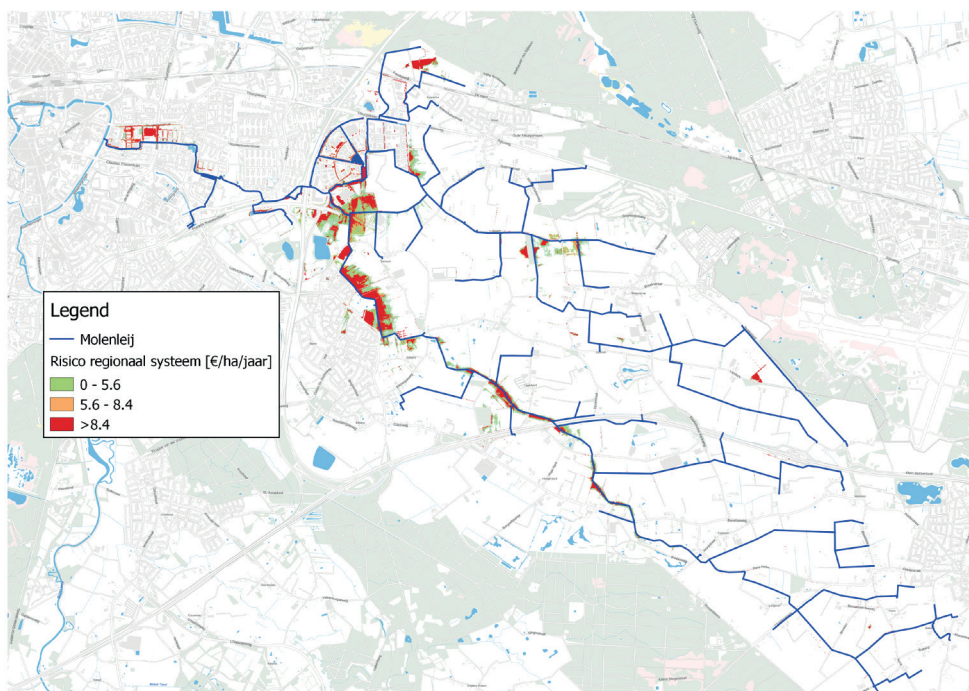
SCHADE IN STEDELIJK GEBIED DOOR PIEKBUIEN. IN GRIJS DE SCHADES DIE WE NIET BESCHOUWEN VOOR HET RISICO

Bui	Herhalingstijd (op basis van het neerslagvolume in 30 min)	Schade zonder gebouwen [€k]	Schade gebouwen [€k]	Totaal [€k]
T2	2	0.9	212.6	213.5
T4	5	4.3	212.6	216.9
T10	10	46.2	226.2	272.4
T20	20	31.4	212.6	244.0
T24	25	28.8	212.6	241.4
T45	50	134.7	226.1	360.8
T95	100	298.5	584.0	882.5
T151	150	297.2	631.2	928.4
T368	300	319.1	1666.2	1985.1

Voor het regionale watersysteem zijn schaderisico's (per 0.5x0.5 m gridcel) reeds bepaald in de watersysteemanalyse. Het totale risico in het stroomgebied van de Molenleij voor het regionale watersysteem is 45.1 k€/jaar. Het totale risico voor regionale en stedelijke wateroverlast samen is dan 60.1 k€/jaar (zonder bebouwing) of 78.6 k€/jaar inclusief bebouwing.

FIGUUR 52

SCHADERISICO MOLENLEIJ UIT WATERSYSTEEMANALYSE. MET DAARBIJ OMCIRKELT; HET CENTRUM VAN BREDA (LINKS), EVENEMENTENTERREIN BAVELSE BERG (MIDDEN BOVEN) EN HET GEBIED LANGS DE GILZEWOUWERBEEK (MIDDEN ONDER)



Het risico's vanuit het regionale watersysteem zijn voor een aantal gebieden is verder opgedeeld:

- Centrum Breda: 29 €/jaar
- Evenemententerrein Bavelse berg: 11 k€/jaar
- Gebied langs Gilzewouwerbeek: 3 k€/jaar

D.3.2 MAATREGELEN

Maatregelen zijn alleen kwalitatief beschouwd. We hebben de volgende maatregelen bekeken:

- Evenemententerrein Bavelse Berg, hierbij zijn maatregelen genomen aan de ruimtelijke inrichting.
- Retentievijver Groene Long om water sneller af te voeren.
- Water vasthouden bovenstrooms in het stroomgebied Molenleij. Hierdoor daalt de maximale afvoer in pieksituaties en kan de wateroverlast in stedelijk gebied afnemen.
- Ruimtelijke inrichting in het centrum (onverharde gebieden/wadi's)
- Aanleg kades en afsluiters centrum Breda.

Uit de beschouwing van de maatregelen blijkt de meerwaarde van een integrale benadering. Zo kunnen bij stedelijke ontwikkelingen de risico's worden gemitigeerd door anders te ontwikkelen. Ook blijkt het belang van een integrale systeemanalyse. Als alleen naar het effect van een maatregel wordt gekeken binnen de scope van het eigen watersysteem (bijvoorbeeld de stad of het landelijk gebied) kan overall het risico nog wel stijgen omdat het systeemgedrag verandert. Hierdoor kan bijvoorbeeld de kans de interactie tussen piekbuien en langdurige buien wel van belang worden.

EVENEMENTENTERREIN BAVELSE BERG

Eerder zijn voor het Evenemententerrein bij de Bavelse Berg al maatregelen genomen vanwege inundatie vanuit de Molenleij. Bij de aanlag van het evenemententerrein is als voorwaarde gesteld dat de overlast voor de omgeving niet toeneemt als gevolg van de nieuwe

inrichting. Daarnaast is het voor de initiatiefnemer zelf van belang dat het risico voor het evenemententerrein zelf binnen de perken blijft. Voor dat laatste zou de initiatiefnemer de risicobenadering kunnen toepassen om zijn investering af te wegen. Hij kan de kosten van ophogen of bouwen op palen afwegen tegen het risico van periodieke overstroming. Het risico vanuit het regionale watersysteem in dit gebied betreft circa 11 k€/jaar. Omgerekend naar een Netto Contante Waarde is dit een bedrag van 220 k€⁸, een bedrag wat als het ware maximaal beschikbaar is om te investeren in ruimtelijke ordening om het risico weg te nemen. Daarbij komt dat dit ook bijdraagt aan de reductie van risico's uit het stedelijk watersysteem, wat niet is gekwantificeerd voor dit gebied.

RETENTIEVIJVER GROENE LONG

Rond de groene kan bij extreme afvoer via de beek water via de overstorten de Groene Long en stedelijk gebied inlopen. Ook is terugloop van het water in het rioolstelsel ongewenst vanuit de rioolzuiveringsbedrijven, vanwege verlies aan berging en verdunning van het rioolwater en daarmee het rendement van de zuivering. Dit kan worden voorkomen door het plaatsen van terugslagkleppen bij de overstorten. De kosten hiervoor worden relatief laag geschat, terwijl het risico (schade en de frequentie van wateroverlast) zal dalen en hiermee de baten stijgen. Vanuit deze optiek is het aanbrengen van deze terugslagkleppen een aantrekkelijke maatregel. Verder moet men bij de retentievijver oppassen dat het stedelijk water systeem niet dusdanig vertraagd wordt dat de kans op interactie met het regionale watersysteem vergroot. Het verlagen van de drempel tussen de retentievijver en de Gilzewouwerbeek kan de interactie verder verkleinen, door het stedelijk watersysteem sneller te laten afstromen.

WATER VASTHOUDEN BOVENSTROOMS IN HET STROOMGEBIED MOLENLEIJ

Om de risico's in het benedenstroomse deel (waar het risico zich concentreert) van het regionale watersysteem te verlagen, is het mogelijk om bovenstrooms in het stroomgebied water vast te houden. Hiermee worden de overstromingen benedenstrooms beperkt en wordt ook de kans op interactie met het stedelijk watersysteem verkleind. Door het vasthouden van het water zal de piekwaterstand bij gelijke terugkeertijden dalen, ook zal de afvoergolf wat afvlakken. Een mogelijk effect kan zijn dat de frequentie van inundatie van het centrum van Breda vanuit de beek afneemt. Dit geeft ook de mogelijkheid dat de afwatering via overstorten langer door kan gaan en heeft zo een positief effect op het stedelijk watersysteem bij veel en langdurige neerslag.

RUIMTELIJKE INRICHTING IN HET CENTRUM

In het stedelijk gebied worden onverharde gebieden ingericht, zoals parken en wadi's die het water dienen vast te houden bij extreme kortdurende neerslag om de stad weersbestendig te maken. Ondanks het feit dat de inrichtingsmaatregelen de extreme afvoerpieken in het rioolstelsel verlagen, moet men er zich wel bewust van zijn dat het water nu trager de beek zal bereiken. In het ergste geval kan deze inrichting het watersysteem dusdanig vertragen dat ze gaan bijdragen aan de hoge afvoeren en waterstanden in het regionale watersysteem.

AANLEG KADES EN AFSLUITERS CENTRUM BRED

In het gehele stroomgebied van de Molenleij is het risico rond de stadsbeek Molenleij in de wijk Brabantspark van Breda het risico vanuit het regionale watersysteem het grootst, namelijk 29 k€/jaar. Dit houdt in dat er 580 k€ beschikbaar is om het risico weg te nemen. Hiervoor kan mogelijk een kade aangelegd worden om te voorkomen dat het water de stad in stroomt. Daarbij kunnen ook afsluiters op de overstorten geplaatst worden, zodat het niet via het riool de stad in stroomt.

⁸ Rekening houdend met een rentevoet van 4.5% en afschrijvingstermijn van 50 jaar.