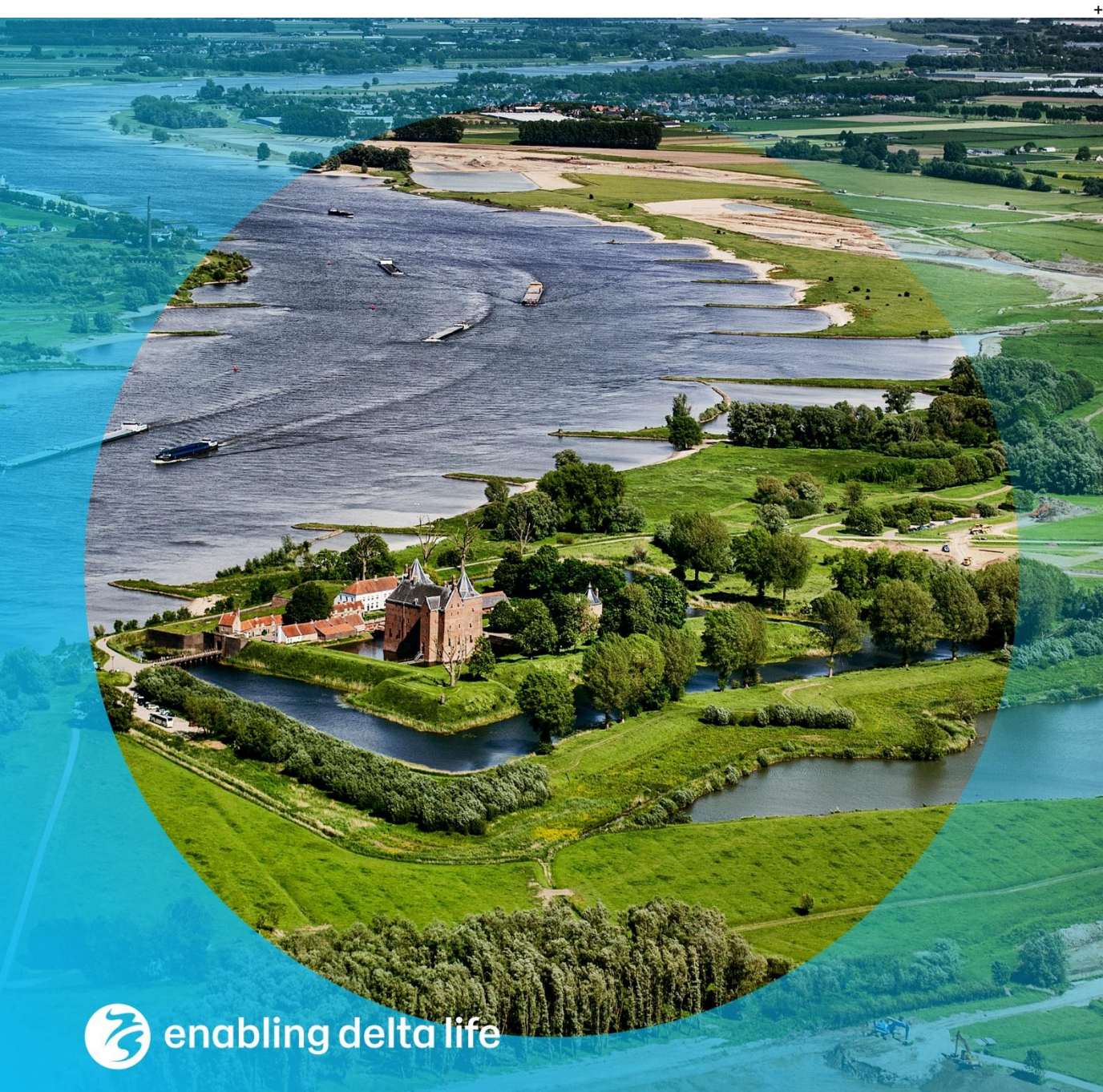


Methode voor bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag

Ten behoeve van een landelijk uniform beeld



Methode voor bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag

Ten behoeve van een landelijk uniform beeld

Auteur(s)

Karin de Bruijn

Bart Maas

Methode voor bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag

Ten behoeve van een landelijk uniform beeld

Opdrachtgever	-
Contactpersoon	
Referenties	
Trefwoorden	

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	29-12-2023
Projectnummer	11209224-001
Document ID	11209224-001-ZWS-0001
Pagina's	89
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Karin de Bruijn	
	Bart Maas	

Samenvatting

In juli 2021 heeft een groot weersysteem, gelegen over de Ardennen, de Eifel en Zuid-Limburg gezorgd voor wateroverlast en overstromingen met in Nederland veel schade tot gevolg. In het buitenland waren de gevolgen zelfs desastreus met circa 200 slachtoffers, vernielde dorpen en langdurige uitval van essentiële voorzieningen zoals elektriciteit en transport. Een zo grote hoeveelheid neerslag kan ook elders vallen. Eind 2022 heeft de Beleidstafel Wateroverlast en Hoogwater een eindadvies gepubliceerd waarin aanbevolen wordt om bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag uit te voeren om daarmee bewustzijn te creëren, te komen tot een betere voorbereiding, en ter ondersteuning van ruimtelijk beleid. Om het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat te ondersteunen bij het uitvoeren van de aanbevelingen van de Beleidstafel Wateroverlast en Hoogwater is in 2023 het Kennisprogramma Wateroverlast gestart. Deze rapportage is als onderdeel van dit kennisprogramma uitgevoerd.

Het doel van dit onderzoek is ten eerste het maken van een eerste landelijk beeld van knelpunten bij grootschalige neerslag. Door zo'n eerste beeld te maken start de discussie over hoe een dergelijk beeld er uit zou moeten zien en op welke factoren zo'n beeld gebaseerd zou moeten worden. Het tweede, gerelateerde doel is om een voorstel te doen voor een methode voor het uitvoeren van bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag en daarbij aandacht te geven aan de keuzes die gemaakt moeten worden om het genereren van een landelijk beeld mogelijk te maken.

Om te komen tot een landelijk beeld van knelpunten en kwetsbaarheden voor grootschalige neerslag en een methode die hiervoor geschikt is, en de regio's voorziet van goede informatie voor de risicodialogen, zijn de volgende stappen uitgevoerd:

- 1 Er zijn discussies gehouden met betrokkenen van het ministerie van Infrastructuur, Waterstaat en Rijkswaterstaat en de begeleidingsgroep en werksessies met experts om in te vullen wat bedoeld wordt met een landelijk beeld van knelpunten. Ook is besproken op basis van welke factoren deze knelpunten kunnen worden afgeleid. Vervolgens is op basis van expert-kennis en reeds bestaande informatie een eerste landelijk beeld gemaakt door kaarten voor de verschillende factoren te maken en te combineren.
- 2 Vervolgens is gekeken naar de bestaande methoden om te komen tot normen voor het watersysteem en methoden gebruikt in de DPRAs stresstesten zodat de methode voor bovenregionale stresstesten hier zo goed mogelijk bij kan aansluiten en op kan aanvullen.
- 3 Vervolgens zijn bestaande methodes en reeds uitgevoerde of gestarte bovenregionale stresstesten gereviewed om te bepalen welke elementen hiervan gebruikt kunnen worden in de landelijke methode voor bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag.
- 4 Tenslotte is het voorstel voor de methode voor bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag gegeven.

Een eerste landelijk beeld van knelpunten / kwetsbare gebieden voor grootschalige neerslag

Op basis van de resultaten van alle bovenregionale stresstesten kan in 2025 een aggregaarde kaart gemaakt worden met voor alle locaties in Nederland waarden voor bijvoorbeeld waterdiepte of schade bij bepaalde scenario's. Deze kaart vraagt interpretatie en duiding en geeft nog niet in een oogopslag weer aan beleidsmakers in welke gebieden welk type overlast te verwachten is, hoe ernstig deze kan worden, waar nu de belangrijkste knelpunten zitten en welke factoren deze bepalen. Daarom wordt een landelijk beeld gemaakt die dit inzicht wel moet bieden. Het landelijk beeld laat dus zien in hoeverre Nederland gesteld staat voor grootschalige neerslag, waar deze kunnen leiden tot ernstige gevolgen en waar het reduceren van kwetsbaarheid het meest urgent is.

Om dit landelijk beeld te vormen is kennis nodig over de verschillende gebiedstypes in Nederland, de kwetsbare locaties en de mogelijkheid om adequaat te reageren op een grootschalige neerslaggebeurtenis. Op basis van expertkennis is een eerste landelijk beeld gemaakt zodat de discussie over hoe dit beeld eruit moet zien kan starten. Voor dit beeld zijn in Nederland vijf gebiedstypes onderscheiden die verschillend reageren op grootschalige neerslag: 1) Steile vrij-afwaterende gebieden, 2) Minder steile vrij-afwaterende gebieden, 3) Licht hellend gebied met deels vrij-afwaterende deels bemalen polders, 4) Polders en polder-boezemsysteem met overwegend kleine/geen bijdrage vanuit andere gebieden en 5) Polders en polder-boezemsysteem met overwegend grote bijdrage vanuit andere gebieden of interactie daarmee. Om een gevoel voor de gevoeligheid voor wateroverlast te geven is vooralsnog de landgebruikskaart gebruikt: steden zijn vanzelfsprekend kwetsbaarder dan bijvoorbeeld graslanden. Om de mogelijkheid van adequaat handelen in te schatten is gekeken naar het aantal overheden binnen een watersysteem waartussen afstemming nodig zou zijn in het geval van grootschalige wateroverlast. Het combineren van de bovenstaande resultaten geeft als kwetsbare gebieden: 1) Complexe polder-boezemsystemen met grote interactie met andere gebieden, beperkte berging en afvoer en veel kwetsbaar landgebruik (vb. Amsterdam-Rijnkanaal/Noordzeekanaalgebied), 2) Vlakke bemalen gebieden met een vrij-afwaterend achterland (vb. Noordwestelijk Noord-Brabant, Groningen) en 3) Stedelijk gebied langs beken of rivieren in vrij-afwaterende gebieden. In de komende jaren wordt dit beeld verbeterd, aangescherpt en wordt de visualisatie en duiding verbeterd zodat het gebruikt kan worden in beleid en voor prioritering.

Methode voor bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag

De bovenregionale stresstest is bedoeld als input voor risicodialoog waarin de acceptatie van wateroverlast en mogelijke maatregelen worden besproken. De stresstest zelf geeft geen acceptatieoordeel, geen besluiten over maatregelen, dimensies of kosten van maatregelen.

Op basis van een analyse van methodes gebruikt voor het afleiden van normen en methodes uit eerdere stresstesten voor grootschalige neerslag en de wens om het waterbeeld, gevolgen en respons mee te nemen is een methode opgesteld voor bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslaggebeurtenissen. De keuze voor de te analyseren scenario's en de te produceren resultaten en parameters om het waterbeeld en de gevolgen te beschrijven zijn hierbij in meer detail uitgewerkt. Immers, deze keuzes zijn bepalend voor de mogelijkheid om resultaten te aggregeren en ook te komen tot een landelijk beeld. Als in alle regio's minimaal één of enkele basisscenario's en enkele basiskarakteristieken van het waterbeeld en gevolgen van overlast worden bepaald, kunnen de resultaten geaggregeerd worden en kan ook een uniform beeld gemaakt worden.

De methode is gegeven in de figuur in deze samenvatting, de te analyseren basisscenario's in Figuur 5.4 en suggesties voor mogelijke extra scenario's in Tabel 5.2. Ook zijn in hoofdstuk 5 methodes voor het bepalen van het waterbeeld en de gevolgen gegeven. De methode en de keuzes zijn gebruikt in de handreiking voor bovenregionale stresstesten voor grootschalige wateroverlast.

De methode voor het uitvoeren van een bovenregionale stresstest bestaat uit verschillende fases: Eerst wordt een brede scoping uitgevoerd om de precieze aanpak en het proces vast te stellen en de scenario's te kiezen die in de stresstest verkend gaan worden. Ten tweede wordt geanalyseerd wat er gebeurt bij een grootschalige neerslaggebeurtenis en tenslotte wordt een globale verkenning gedaan om te bepalen of bepaalde maatregelen het overwegen waard zijn. De keuze voor het al dan niet nemen van maatregelen en de analyse daartoe vindt pas plaats in de risicodialoofase die start na de stresstest en waarvoor de stresstest inzichten biedt.

Methode bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslaggebeurtenissen

1. Scoping	<ul style="list-style-type: none"> - Welk gebied hebben we het over? - Welke vragen/ontwikkelingen zijn relevant - Welke kennis en modellen zijn beschikbaar? - Welke scenario's worden gebruikt? - Wie doen de stresstest, wie worden betrokken en proces 	
2. Wat gebeurt er bij grootschalige neerslag?	Genereren Waterbeeld	- Waterdiepte, duur, afvoer naar HWS en of buitenwater, Waterstanden tov kritiek niveau, stroomsnelheden
	Bepalen Gevolgen	<ul style="list-style-type: none"> - Vitaal en kwetsbaar (bv. wegen, nutsvoorzieningen, ziekenhuizen) - Directe gevolgen (bv. getroffen, en oppervlaktes landbouw, glastuinbouw, stedelijk gebied, recreatie en % van totaal - Schade
	Bepalen respons en herstel	- Volgens bestaande protocollen en draaiboeken
3. Verkenning handelingsperspectieven	<ul style="list-style-type: none"> - Eerste screening van typen (watersysteem) maatregelen t.b.v. ondersteuning risicodialoog 	

Aanbevelingen voor verdere kennisontwikkeling

Om een goed beeld te krijgen van wat de gevolgen zijn van grootschalige neerslag en welke maatregelen of handelingsperspectieven overwogen kunnen worden in de risicodialoog ontbreekt nog kennis. Er wordt aanbevolen onderzoek te doen of reeds gestart onderzoek te volgen zodat het meegenomen kan worden door de verschillende regio's. Specifieke aanbevelingen zijn:

- 1 Kijk in meer detail naar regionale keringen: Zijn deze standzeker wanneer deze lang water moeten keren en of wanneer waterstanden snel dalen?
- 2 Maak een handreiking voor de modellering van grootschalige wateroverlast zodat niet iedere partij opnieuw hiertoe de details hoeft uit te zoeken en er bovendien meer consistentie ontstaat.
- 3 Werk de methode voor gevolgenbepaling verder uit: Bepaal welke methode (Waterschadeschatter of SSM) de voorkeur heeft voor verschillende situaties in verschillende gebieden of verbeter de methode hiervoor met elementen van beiden en geef handvaten voor het beter in beeld brengen van het effect van grootschalige neerslag en wateroverlast op het functioneren van vitale netwerken en de maatschappelijke impact van eventuele uitval. Kijk ook naar gevolgen die lastiger te bepalen zijn en vaak niet worden genoemd zoals ecologische en gezondheidsschade door vervuiling.
- 4 Verken maatregelen zodat meer inzicht ontstaat in de kansrijkheid van maatregelen. Denk hierbij aan het vergroten van sponswerking, het anders aanleggen van vitale infrastructuur en kwetsbare objecten en/of het aanpassen en normeren daarvan, maatregelen in het watersysteem zelf (bijvoorbeeld extra gemalen of noodmaatregelen), monitoring van waterstanden en waarschuwingssystemen, en verbeterde informatie voor en communicatie met organisaties, bedrijven en burgers en voorbereiding.

- 5 Verbind de bovenregionale stresstest voor grootschalige neerslag en de risicobenadering: Om een gebied gesteld te laten staan voor extreme neerslag zijn zowel maatregelen nodig voor meer frequente en voor meer zeldzame gebeurtenissen. De keuze voor ontwerp van de normhoogte voor ontwerp van het watersysteem en maatregelen voor gevolgbeperking hangt samen. Om dit concreter te maken is het aan te bevelen een concrete casestudie uit te werken.
- 6 Verbind de bovenregionale stresstest voor grootschalige neerslag met ander stresstesten zoals stresstesten voor het hoofdwatersysteem, de snelwegen, gemeentelijke DPRA stresstesten. Idealiter worden waar dat mogelijk is stresstesten met elkaar gelinkt of in de tijd uitgevoerd zodat stresstesten in dezelfde regio gebruik kunnen maken van elkaars bevindingen.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	10
1.1	Achtergrond en context	10
1.2	Doel van het onderzoek	12
1.3	Proces	12
1.4	Aanpak en leeswijzer	12
2	Naar een landelijk beeld	14
2.1	Wat wordt bedoeld met een landelijk beeld?	14
2.2	Naar een eerste landelijk beeld op hoofdlijnen basis van bestaande kennis	15
2.2.1	Waterbeeld en te onderscheiden gebieden	15
2.2.2	Landgebruik en kwetsbare objecten	22
2.2.3	Respons	24
2.2.4	Combinatie tot kaart met kwetsbare gebieden	26
2.3	Conclusies en aanbevelingen	28
3	Relatie bovenregionale stresstesten voor wateroverlast met andere trajecten	30
3.1	Inleiding	30
3.2	De relatie van bovenregionale stresstesten met bestaande trajecten om kwetsbaarheid voor neerslag/wateroverlast en hoogwater te analyseren	32
4	Review uitgevoerde bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslaggebeurtenissen	35
4.1	Inleiding	35
4.2	Limburg	35
4.3	Zuid-Holland	37
4.4	Case studie grootschalige wateroverlast in de Brabantse Delta	41
4.5	NKWK-project “Methodiek voor uitwerken bovenregionale extreme neerslagsscenario’s”	42
4.6	Grensoverschrijdende stresstesten	44
4.7	Stresstest hoofdwatersysteem	44
4.8	Conclusie uit bestaande informatie voor de te ontwikkelen methode	45
5	Methode bovenregionale stresstesten op hoofdlijnen	46
5.1	Inleiding	46
5.2	Overzicht van de methode	46
5.2.1	Beoogd doel van de bovenregionale stresstest voor grootschalige wateroverlast	46
5.2.2	Onderdelen van de methode	47
5.3	Gebiedskeuze en regio-indeling	49

5.4	Scenariokeuze: Welke gebeurtenissen en omstandigheden nemen we mee?	53
5.4.1	Neerslag- en andere weercondities	53
5.4.2	Initiële condities	58
5.4.3	Randvoorwaarden buitenwater	58
5.4.4	Functioneren watersysteem	59
5.4.5	Respons	59
5.4.6	Gevoeligheidsanalyses	60
5.5	Bepalen van het waterbeeld	60
5.5.1	Benodigde informatie voor het waterbeeld	60
5.5.2	Aanbevelingen voor verschillende typen gebieden	63
5.6	Bepalen van de gevolgen	65
5.6.1	Inleiding en overzicht categorieën	65
5.6.2	Vitaal en kwetsbare infrastructuur	68
5.7	Respons	71
5.8	Verkenning handelingsperspectieven	71
6	Conclusies en aanbevelingen	72
6.1	Conclusies	72
6.2	Aanbevelingen	73
7	Referenties	75
A	Bestaande normen en stresstesten	77
A.1	Watersysteemanalyse voor de NBW toetsing	77
A.2	Normering voor boezemkades (regionale waterkeringen)	80
A.3	Waterveiligheidsnormen	81
A.4	Riolering	82
A.5	DPRA stresstesten	82
A.6	Richtlijn Overstromingsrisico's (ROR)	83
B	Beknopt overzicht van bestaande watersysteemmodellen gemaakt voor verschillende doelen	87

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en context

In juli 2021 heeft een groot weersysteem, gelegen over de Ardennen, de Eifel en Zuid-Limburg gezorgd voor wateroverlast en overstromingen met in Nederland veel schade tot gevolg. In het buitenland waren de gevolgen zelfs desastreus met circa 200 slachtoffers, vernielde dorpen en langdurige uitval van essentiële voorzieningen zoals elektriciteit en transport.

Een zo grote hoeveelheid neerslag is weliswaar uitzonderlijk, maar ook elders mogelijk: In 1998 is er veel neerslag gevallen in een groot gebied in West-Nederland (en deels boven de Noordzee) en recent, in november 2023 zijn er door extreme en grootschalige neerslag in Noord-Frankrijk en West-Vlaanderen overstromingen geweest met veel schade tot gevolg. Eind 2021 heeft Deltares op basis van een driedaagse hackathon laten zien dat de gevolgen van grootschalige neerslag ook elders in Nederland groot kunnen zijn (De Bruijn & Slager, 2022). Nederland is op dit moment nog niet overal goed voorbereid op grootschalige neerslag en aangezien de verwachting is dat deze in de toekomst vaker op zullen treden, is een groter bewustzijn hiervan, een betere voorbereiding en een zoveel mogelijk klimaatrobuuste inrichting gewenst. Om die reden is er begin 2022 een beleidstafel Wateroverlast en Hoogwater ingesteld.

Eind 2022 heeft de Beleidstafel Wateroverlast en Hoogwater een eindadvies gepubliceerd met daarin 21 aanbevelingen en een motto namelijk: "Voorkomen kan niet, voorbereiden wel"¹. Vier van deze aanbevelingen zijn gerelateerd aan het uitvoeren van bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag om daarmee bewustzijn te creëren, te komen tot een betere voorbereiding, en ter ondersteuning van ruimtelijk beleid (aanbeveling 9, 10, 11 en 19). Ook zijn er enkele aanbevelingen gedaan die zich richten op het verminderen van de kwetsbaarheid of op maatregelen voor het beter gesteld staan voor onder andere grootschalige neerslaggebeurtenissen (aanbeveling 12, 13 en 14).

De belangrijkste aanbevelingen die gaan over of raken aan bovenregionale stresstesten uit dit advies zijn weergegeven in Tabel 1.1. Voor 2023 geeft het eindadvies aanbevelingen die zich vooral richten op het ontwikkelen van netwerken, methodieken en platforms, voor 2024 zijn de aanbevolen activiteiten gericht op de uitvoering en toepassing van de methodes en in 2025 op het vertalen van de uitkomsten naar maatregelen en het combineren van de uitkomsten tot een landelijk beeld van kwetsbare locaties voor wateroverlast en tenslotte wordt in 2026 uitvoering van de maatregelen voorzien.

Om DGWB te ondersteunen bij het uitvoeren van de aanbevelingen van de beleidstafel Wateroverlast en Hoogwater is in 2023 het Kennisprogramma Wateroverlast gestart. Het doel van dit programma is het ontwikkelen van kennis voor het uitvoeren van de aanbevelingen in het advies van de beleidstafel.

¹ [Voorkomen kan niet, voorbereiden wel. Allemaal aan de slag | Rapport | Rijksoverheid.nl](#)

In 2023 is in dit Kennisprogramma Wateroverlast ingezet op de volgende subdoelen:

- 1 *Het toewerken naar een landelijk beeld van knelpunten voor grootschalige neerslag:* Verkenning van regio's, uitgangspunten en knelpunten of kwetsbaarheden, leidend tot een eerste landelijke kaart van knelpunten en het ontwikkelen van bouwstenen en het bijdragen aan de aanpak voor bovenregionale stresstesten (aanbeveling (10b, 11c, 19b)
- 2 *Bijdragen aan de "normering gevolgbeperving"* voor vitale en kwetsbare functies (aanbeveling 12 & 13)
- 3 *Sponswerking:* Het geven van inzicht in de effecten van sponswerking en de mogelijkheden om sponswerking te vergroten als maatregel voor het beperken van wateroverlast (aanbeveling 3 en 3b) (niet in deze tabel genoemd)
- 4 *Waterlabel: Ondersteunen van de discussie over het al dan niet invoeren van een waterlabel.*

Dit rapport is het resultaat van het onderdeel van het Kennisprogramma Wateroverlast gericht op subdoel 1 en geeft een inhoudelijke aanpak voor bovenregionale stresstesten en het toewerken naar een landelijk beeld van knelpunten gerelateerd aan grootschalige neerslag. Dit rapport beschrijft wat onder landelijk beeld verstaan wordt, welke kennis hiervoor nodig is en uit de bovenregionale stresstesten zou kunnen komen en geeft een methode voor de bovenregionale stresstesten op hoofdlijnen. Een aantal onderdelen van de methode is in meer detail uitgewerkt. Het rapport biedt hiermee inhoudelijke informatie ten behoeve van de handreiking voor uitvoering van bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag. De informatie is al gedurende het project toegeleverd aan en afgestemd met het consortium dat de handreiking voor bovenregionale stresstesten maakt (zie ook De Vries *et al.*, in prep.).

Tabel 1.1. Aanbevelingen uit het eindrapport van de beleidstafel Wateroverlast en Hoogwater die het meest gerelateerd zijn aan grootschalige neerslaggebeurtenissen.

Aanbeveling	Gereed	Lopend onderzoek/traject
10		
Start bovenregionale stresstesten en deel opgedane kennis in het platform 'Wateroverlast Nederland in kaart'		
a. Een quick-scan van bestaande informatie voor een aantal koploperregio's om de methodiek in de praktijk te testen	2023	Afgerond
b. De aanpak voor de uitvoering van bovenregionale stresstesten uitwerken in een handreiking	2023	Kennisprogramma wateroverlast en marktconsortium werkt hieraan.
c. Een <i>community of practice</i> 'Wateroverlast NL in kaart' oprichten, op basis van structuur van 'Slim Watermanagement', 'Samen klimaatbestendig' en STOWA. Informatie delen via Kennisportaal klimaatadaptatie.	2023 platform operationeel	Marktconsortium werkt hieraan.
9	2024	Klimaatbestendige netwerken- stresstest hoofdwatersysteem (loopt)
Maak de samenhang tussen het hoofdwatersysteem en het regionaal systeem inzichtelijk en gebruik dit in de lopende projecten en de bovenregionale stresstesten		
11		
Voer de bovenregionale stresstesten uit met voorgestelde rolinvulling		

Aanbeveling	Gereed	Lopend onderzoek/traject	
a. Provincies coördineren stresstesten. Voor dreigingsbeeld wordt aangesloten bij het proces van de ROR	2024	Start later	
b. Provincies coördineren risicodialoog voorafgaand aan de DPRA risicodialoog.	2025	Start later	
c. De minister van IenW komt tot een landelijk beeld van knelpunten op basis van de bovenregionale stresstesten	2025	Start later	
19	Voer grensoverschrijdende stresstesten uit (19a en b: oprichten team en ontwikkelen methode; c: uitvoeren stresstesten)	Methode: 2023 Uitvoering: 2024	EU programma en netwerk t.b.v. Grensoverschrijdende stresstesten (loopt)
Overschrijdende	Maatregelen: 12: Zet in op normering gevolgbeperking 13: Maak extreme neerslag een risico in de risicomanagement-systemen voor vitale processen en versterk de bijbehorende coördinatie 14: Betrek spelers en ken elkaar in de keten voor een optimale crisisvoorbereiding in het regionale watersysteem	2024	Kennisprogramma Wateroverlast draagt bij aan 12 en 13

1.2 Doel van het onderzoek

Het lange-termijn doel van het deelproject is tweeledig: Het toewerken naar een landelijk beeld van knelpunten en kwetsbaarheden voor grootschalige neerslag (inclusief het Nederlandse deel van grensoverschrijdende riviersystemen) en het geven van een methode voor bovenregionale stresstesten op hoofdlijnen en bieden van meer uitgewerkte bouwstenen voor enkele elementen in die methode voor bovenregionale stresstesten. Met name de elementen die belangrijk zijn voor het krijgen van een uniform beeld worden uitgewerkt.

1.3 Proces

Het project is uitgevoerd in nauwe samenwerking met RWS WVL en DGWB. Ook heeft DGWB een begeleidingscommissie ingesteld voor alle opdrachten gerelateerd aan de bovenregionale stresstesten. In deze begeleidingscommissie zijn naast DGWB en RWS WVL, de UvW, STOWA en DPRA (team inhoud), ook anderen zoals Waterschap Amstel Gooi en Vecht, staf Deltacommissaris, Stichting CAS, provincie Limburg, provincie Noord-Holland en provincie Zuid-Holland vertegenwoordigd. Ook is er een 2-wekelijkse afstemming met het consortium van de handreiking van bovenregionale stresstesten en is deelgenomen aan de *Community of Practice* bijeenkomsten voor bovenregionale stresstesten.

1.4 Aanpak en leeswijzer

Om te komen tot een landelijk beeld van knelpunten en kwetsbaarheden voor grootschalige neerslag en een methode die hiervoor geschikt is, en natuurlijk de regio's voorziet van goede informatie voor de risicodialogen, zijn de volgende stappen uitgevoerd:

- 1 Er zijn discussies gehouden met DGWB en WVL en de begeleidingsgroep en werksessies met experts om in te vullen wat bedoeld wordt met een landelijk beeld van knelpunten en op basis van welke factoren deze knelpunten kunnen worden afgeleid (paragraaf 2.1).

- 2 Vervolgens is op basis van expert-kennis en reeds bestaande informatie een eerste landelijk beeld gemaakt door kaarten voor de verschillende factoren te maken en te combineren (hoofdstuk 2)
- 3 Ook is gekeken naar gerelateerde normen en stresstesten zodat de methode voor bovenregionale stresstesten hier zo goed mogelijk bij kan aansluiten en op kan aanvullen (zie hoofdstuk 3).
- 4 Vervolgens zijn bestaande methodes en reeds uitgevoerde of gestarte bovenregionale stresstesten gereviewed om te bepalen welke elementen hiervan gebruikt kunnen worden in de landelijke methode voor bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag (hoofdstuk 4).
- 5 In hoofdstuk 5 wordt tenslotte het voorstel voor de methode voor bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag gegeven. Dit voorstel is gebaseerd op de discussie en analyse ten behoeve van het eerste landelijk beeld in hoofdstuk 2, is zoveel mogelijk aangesloten op de methodes gebruikt in andere stresstesten en voor de normering van wateroverlast en het watersysteem (beschreven in hoofdstuk 3) en maakt waar mogelijk gebruik van de reeds ontwikkelde kennis en bestaande methodes voor bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag (beschreven in hoofdstuk 4). De keuze voor de te analyseren scenario's en de te produceren resultaten en parameters om het waterbeeld en de gevolgen te beschrijven zijn hierbij in meer detail uitgewerkt. Immers, als in alle regio's minimaal een of enkele basisscenario's en basiskarakteristieken van het waterbeeld en de gevolgen worden bepaald, kunnen de resultaten geaggregeerd worden en kan ook een uniform beeld gemaakt worden.

In hoofdstuk 6 worden conclusies en aanbevelingen gegeven.

2 Naar een landelijk beeld

2.1 Wat wordt bedoeld met een landelijk beeld?

De Beleidstafel Wateroverlast en Hoogwater heeft aanbevolen om in 2025 een landelijk beeld te geven van knelpunten of kwetsbaarheden voor grootschalige neerslag. Om dat beeld te krijgen is het belangrijk om waar mogelijk uniformiteit in de stresstesten aan te brengen. Hiervoor is in deze paragraaf uitgewerkt wat bedoeld wordt met een landelijk beeld en welk type informatie hiervoor nodig is. Dit inzicht is in hoofdstuk 5 gebruikt bij het voorstellen voor een methode voor het uitvoeren van bovenregionale stresstesten voor grootschalige wateroverlast op hoofdlijnen.

In expertsessies is het beoogde doel van het landelijk beeld besproken en is overlegd over wat bedoeld is met “knelpunten” in relatie tot het landelijk beeld en ook over welke informatie nodig is voor het schetsen van dat landelijke beeld van knelpunten. Hieruit is naar boven gekomen dat er twee typen landelijke beelden nodig zijn:

- 1 *Een landelijk beeld op hoofdlijnen* dat inzicht geeft aan de minister en beleidsmakers
- 2 *Een geaggregeerde landelijke kaart* waarop ingezoomd kan worden en dat dient als informatie voor de risicodialogen of voor diegenen die in de regio's met klimaatrobuuste inrichting of calamiteitenmanagement en crisismangement aan het werk gaan om beter voorbereid te zijn op grootschalige neerslag.

1. Landelijk beeld op hoofdlijnen

Het landelijk beeld op hoofdlijnen is in eerste instantie bedoeld om inzichtelijk te maken in hoeverre Nederland gesteld staat voor grootschalige neerslag, waar deze kan leiden tot ernstige gevolgen en waar het reduceren van die gevolgen het meest urgent is. Het geeft de minister inzicht in waar de prioriteiten zouden moeten liggen. Hiervoor is een beeld nodig van de kwetsbare gebieden voor grootschalige neerslag. Het beeld zou ook bewustzijn moeten creëren bij overheden en kan bijdragen aan het invullen van beleid zoals “Bodem en Water Sturend”, aan Ruimtelijke Ordening en beleid gericht op Vitale Infrastructuur en Kwetsbare objecten.

Er wordt toegewerkt naar een landelijk beeld in 2025, bestaand uit een overzichtelijke kaart met kleuren en symbolen en met duiding waarop in een oogopslag te zien is waar kwetsbare gebieden liggen. Dit beeld wordt gebaseerd op kennis over de te verwachten waterdieptes, waterstanden en duur van overstromingen (*waterbeeld of dreigingsbeeld*), de *gevolgen* van de overstromingen of wateroverlast en de complexiteit van de *respons*. Ook wordt inzicht gegeven in de factoren of mechanismen die de kwetsbaarheid bepalen. In de rapportage worden verschillende typen gebieden in Nederland onderscheiden en wordt verder toegelicht wat bedoeld wordt met kwetsbaarheden en knelpunten. Dit landelijk beeld is als het ware het overall beeld, en vormt de conclusie die experts te zijner tijd kunnen trekken als zij de resultaten van bovenregionale stresstesten van alle gebieden overzien.

Een eerste voorbeeld van een landelijk beeld op hoofdlijnen is opgenomen in paragraaf 2.2. Deze is gemaakt door middel van een werksessie met experts bij Deltares. Ook is op kaart aangeduid welke regio's en gebieden (naar verwachting) het meest kwetsbaar zijn: i.e. waar de gevolgen ernstig zijn en waardoor. In de komende jaren wordt dit beeld verder ingevuld.

Landelijke geaggregeerde kaart van alle bovenregionale stresstesten

Daarnaast wordt er ook een landelijk geaggregeerde kaart gemaakt op basis van de uitkomsten van alle bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag. Deze geaggregeerde kaart kan gebruikt worden in stresstest en risicodialogen, of door belanghebbenden zoals provincies, waterschappen, veiligheidsregio's, gemeentes, ondernemers, gebiedsinrichters, landschapsplanners, en voor beleidsvorming.

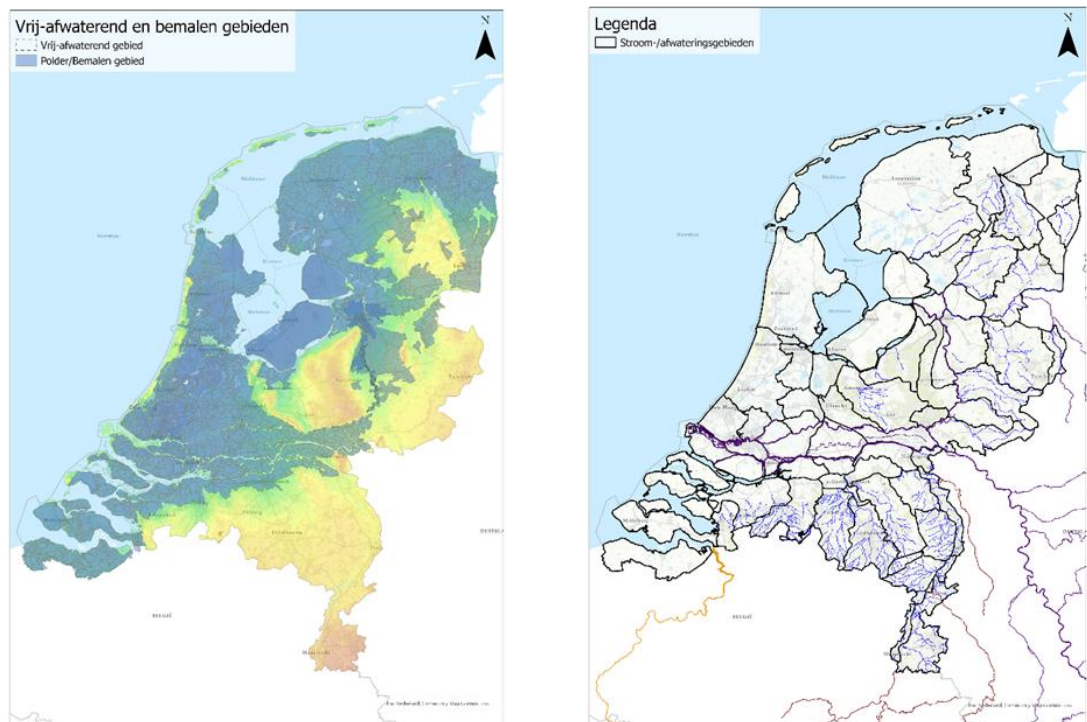
Deze kaart is een manier om de resultaten van alle bovenregionale stresstesten te delen en beschikbaar te stellen voor verschillende gebruikers. Het detailniveau is hoger dan van het landelijk beeld op hoofdlijnen: gebruikers kunnen inzoomen om de relevante details voor hun regio of gemeente te zien. Deze informatie wordt gedeeld door deze op te nemen in de Landelijke Database Overstromingen (LDO) en te ontsluiten via een open website.

2.2 Naar een eerste landelijk beeld op hoofdlijnen basis van bestaande kennis

Om te komen tot een landelijk beeld gebaseerd op verwachte waterdieptes en duur van overlast, op gevolgen en op mogelijkheden voor response is informatie over alle drie deze onderwerpen nodig. In deze paragraaf worden deze achtereenvolgens besproken. In paragraaf 2.2.4 wordt de informatie gecombineerd tot een eerste kaart van landelijke knelpunten.

2.2.1 Waterbeeld en te onderscheiden gebieden

Om te komen tot een beeld van de te verwachten wateroverlast (qua waterbeeld) is gekeken naar een aantal gebiedskenmerken zoals de hoogte en helling, de locatie van polders en boezems en hoge gronden (Figuur 2.1a), en stroom- en afwateringsgebieden (Figuur 2.1b).

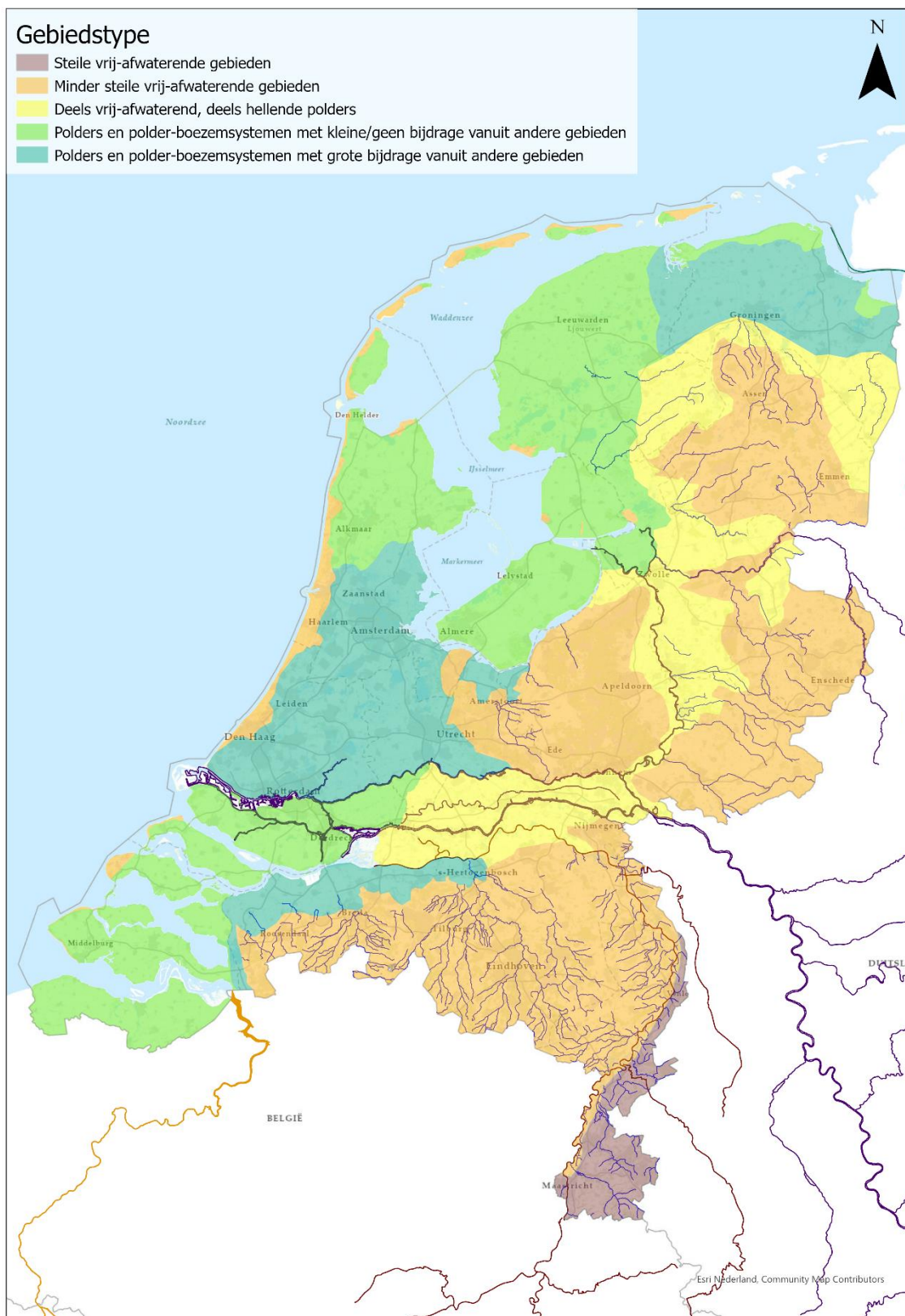


Figuur 2.1 Enkele gebiedskenmerken: Verdeling van polder/bemalen gebieden, overige zijn vrij-afwaterend gebieden met hoogteligging (links) en de ligging van stroom- en afwateringsgebieden en de grote rivieren (rechts) (bron van de stroomgebiedeninformatie: <https://themasites.pbl.nl/atlas-regio/kaarten/?qmb=1625475564035.true,1;1595921285002.true,1>)

Op basis van deze gebiedskenmerken kunnen vijf gebiedstypes onderscheiden worden met elk een soortgelijk systeemgedrag bij extreme grootschalige neerslag:

- 1 *Steile vrij-afwaterende gebieden* waar snelle ongecontroleerde afstroom kan voorkomen.
- 2 *Minder steile vrij-afwaterende gebieden* waaruit het regenwater snel afgevoerd kan worden.
- 3 *Licht hellend gebied met deels vrij-afwaterende deels bemalen polders* die boven NAP liggen. In deze gebieden wordt het waterpeil in de watergangen gestuurd met stuwen, zijn de grotere waterlopen licht hellend met een vaste stromingsrichting en zijn deze soms gestuwd of bemalen en soms vrij-afwaterend. De gebieden wateren onder vrij verval af op deze waterlopen of worden erop uit gemalen.
- 4 *Polders en polder-boezemsysteem met overwegend kleine/geen bijdrage vanuit andere gebieden*: Gebieden waar het regenwater uit weggepompt moet worden naar buitenwater of naar boezems met voldoende berging of afvoercapaciteit.
- 5 *Polders en polder-boezemsysteem met overwegend grote bijdrage vanuit andere gebieden of interactie daarmee*: Gebieden waar het regenwater uit weggepompt moet worden en waar de afvoer niet alleen beperkt wordt door de poldergemalen, maar ook door beperkte berging en afvoer van de boezems of waar veel polder-boezemsystemen afhangen van een tussenboezem of kanaal met een beperkte afvoercapaciteit. Ook gebieden waarin veel water ongecontroleerd instroomt vanuit een vrij-afwaterend gebied, zoals het Mark-Vlietstelsel bij Breda vallen in deze categorie. Juist in deze gebieden is wateroverlast potentieel een probleem.

De verschillende gebiedstypes worden hieronder toegelicht, afgebeeld in Figuur 2.2 en samengevat in Tabel 2.1.



Figuur 2.2 Indeling van Nederland op basis van verwachte karakteristieken van het waterbeeld bij grootschalige langdurige neerslag (gebaseerd op expert kennis een beschikbare studies).

1. Steile vrij-afwaterende hellende gebieden

Deze gebieden zien we vooral in Zuid-Limburg. Hier treedt wateroverlast op doordat water afstroomt over het maaiveld en door snelle en hoge afvoerpieken in de beken. Er kunnen zich flashflood-achtige situaties voordoen. De wateroverlast treedt vanzelfsprekend alleen op langs de beken en vooral daar waar afvoerbepalingen optreden of waterlopen samenkomen. De waterdiepte kan groter zijn dan een meter, stroomsnelheden en stijgsnelheden kunnen groot zijn waardoor lokaal gevaarlijke situaties mogelijk zijn. De duur van wateroverlast is meestal minder dan een dag.

2. Minder steil vrij-afwaterende gebieden

Deze gebieden liggen in Noord-Brabant en op het Fries-Drents Plateau, de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe. Ook de stroomgebieden van de Vecht en van de rivieren en beken in de Achterhoek vallen in deze categorie. Deze gebieden worden gekenmerkt door vrij-afwaterende hoge gronden met samenvloeiende beken en riviertjes, waarbij afvoerpieken op elkaar gesuperponeerd kunnen worden en zo tot (extreem) hoge afvoeren kunnen leiden waardoor wateroverlast langs de beken en rivieren kan ontstaan. Een groot deel van de neerslag wordt via snelle en tragere grondwaterstroming afgevoerd. Ook kan in dit type gebieden wateroverlast ontstaan door oppervlakkige afstroming langs de steilere hellingen. Wateroverlast wordt gekenmerkt door in het algemeen een korte duur (orde een dag) en hogere stroomsnelheden op het land en in de beken dan in vlakke polders. Op plaatsen waar water accumuleert kunnen waterdieptes groot worden. Ook kunnen er lokaal gebieden zijn waar het water niet weg kan en waar dus de duur van wateroverlast langer is.



Figuur 2.3 Hoogwater in de Overijsselse Vecht.

3. Deels vrij-afwaterende, deels hellende polders die boven NAP liggen

In de derde categorie vallen gebieden die of wel vrij-afwaterend zijn, maar vlakker dan de gebieden in categorie 2, of bemalen, maar wel hellend. In deze gebieden kan een deel van het regenwater onder vrij verval afgevoerd worden, maar minder snel dan bij steilere vrij-afwaterende gebieden uit categorie 1 en 2. Er zijn in deze categorie ook gebieden die weliswaar uitmalen, maar die malen op een watergang die zelf onder vrij verval afstroomt. De afwatering wordt in dit type gebied beperkt door een relatief gering verhang, een beperkte uitlaatcapaciteit, of knelpunten in de afvoer. Gebieden die in deze categorie vallen zijn bijvoorbeeld de centrale riviergebieden. De afvoercapaciteit van de Linge is bijvoorbeeld beperkt door de geringe helling, de beperkte breedte van de sluis bij Asperen waar de Linge de Diefdijk passeert en de zeer kleine helling van het benedenstroomse deel in de Alblasserwaard. Wanneer de Beneden-Merwede, de riviertak waar de Linge in uitstroomt, hoogwater heeft, is de afvoercapaciteit nog verder beperkt. Dit leidde in januari 2023 bijvoorbeeld tot een zeldzame overstroming van het buitendijks gebied langs de Linge, met wateroverlast voor de gebruikers ervan.

In dit type gebied treedt wateroverlast op in de polders als de neerslag de capaciteit van de poldergemalen overtreft en de berging in het gebied gevuld is en ook langs de waterlopen, zoals de Linge, daar waar de afvoercapaciteit beperkt is en net bovenstrooms daarvan. De duur van de wateroverlast is langer dan in de gebieden van categorie 1 en 2, maar korter dan in de gebieden van categorie 4 en 5.



Figuur 2.4 Wateroverlast in het buitendijkse deel van de Linge in januari 2023 (bron: <https://t.co/ISRmi5vHR5> / X (twitter.com))

4. Polders en polder-boezemsystemen met overwegend kleine/geen bijdrage vanuit andere gebieden

In deze categorie vallen gebieden waarvan het (lokaal gevallen) regenwater naar het buitenwater gepompt moet worden en waarvan de afwatering vooral beperkt wordt door de poldergemaalcapaciteit. Voorbeelden van dit type gebied zijn de Zuid-Hollandse en Zeeuwse eilanden, West-Friesland, de Waddeneilanden en ook Flevoland.

In deze gebieden treedt wateroverlast op als de neerslag de gemaalcapaciteit overtreft en de beschikbare bodem- en slootberging vol is. Waterschappen zullen zo goed mogelijk zorgdragen voor de optimale werking van de poldergemalen. Deze poldergemalen malen ofwel naar buitenwater of een meer of waterloop met voldoende berging of afvoercapaciteit, zodat er geen maalbeperkingen voor de polders te verwachten zijn (in een situatie met veel neerslag maar zonder stormopzet).

In het algemeen is de verwachte waterdiepte op land bij grootschalige langdurige neerslag in dit type gebieden beperkt, maar duurt de wateroverlast wel lang: bij gebeurtenissen zoals in juli 2021 kan er ruim een week een klein laagje water in de diepere delen van de polders staan, dat langzaam wordt uitgedempt.

5. Polder en polder-boezemsystemen met grote bijdrage vanuit andere gebieden en of sterke interactie met andere gebieden

Tot deze categorie behoren gebieden die in grote mate interactie hebben met naburige gebieden en waarvan de afvoer niet alleen beperkt wordt door de poldergemalen, maar ook door beperkte berging en afvoer van de boezems, de tussenboezem of het kanaal waarop gepompt wordt. Door deze beperkingen kunnen voor polders maalstops opgelegd worden. Voorbeelden hiervan zijn grote delen van de beheersgebieden Delfland, Rijnland, en Amstel Gooi en Vecht en ook het beheersgebied van het Waterschap Noorderzijlvest in Groningen (De Bruijn en Slager, 2022) waar de afvoer beperkt kan worden door hoge boezemwaterstanden veroorzaakt door beperkte capaciteit van de afvoer naar en vanuit het Lauwersmeer en grote volumes water uit het Drents plateau. Ook de West-Brabantse polders vallen onder deze categorie. Deze polders ontvangen veel water vanuit het vrij-afwaterende Brabantse en Vlaamse achterland. De gebieden waar vrij-afwaterende beken en rivieren uitkomen in een bemalen systeem vragen bijzondere aandacht omdat juist daar vaak wateroverlast ontstaat: immers de waterpeilen in de boezem of grotere watergang kunnen dan snel stijgen, waardoor wateroverlast ontstaat langs de waterlopen en ook de polders erlangs te maken kunnen krijgen met maalstops (Slager *et al.*, 2023).

Tabel 2.1 Beschrijving van de vijf gebiedstypes die zijn onderscheiden op basis van kenmerken van wateroverlast.

Gebiedstype	Voorbeeldregio's	Kenmerk	Wateroverlastkenmerken
1. Steile vrij-afwaterende gebieden	Zuid-Limburgse beken/steile riviertjes	Steil, dunnere bodems, snelle respons op neerslag	Plotselinge overstromingen mogelijk, overlast langs beken vooral daar waar water afvoerbepalingen optreden of de helling afneemt. Gevaarlijke situaties mogelijk door snelle stijging van waterdieptes en grotere stroomsnelheden. De overlast duurt i.h.a. kort en is lokaal.
2. Minder steile vrij-afwaterend gebieden	Midden- en Noord-Limburg, Brabantse zandgronden en beekdalen, stuwwallen en Gelderse Vallei, Oost-Nederland, Fries-Drents plateau, de duinen	Vrij-afstromend en relatief steil; niet peilbeheerst. Regen stroomt ongecontroleerd en snel af. Weinig afvoerbepaling en sturingsmogelijkheden	Lokale overlast langs beken/rivieren vooral, maar niet alleen daar waar knelpunten in afvoer optreden (bij bruggen, duikers, en ander infrastructuur) Waterdieptes kunnen lokaal meer dan een meter worden. Regionale keringen kunnen overlopen en falen en daarbij gevaarlijke situaties veroorzaken. Hoogwater en overlast duurt i.h.a. kort (orde een dag).
3. Deels vrij-afwaterend en deels hellende polders	Grote delen van centrale rivierengebied, regio rondom Fries-Drents plateau	Vooraf vrij-afstromende grotere waterlopen; wel peilgestuurd door stuwen en kunstwerken. Polders wateren af volgens een getrap systeem. Er zijn soms gemalen om water op vrij-afstromende watergang te malen. De gebieden liggen boven NAP.	Lokale overlast door overstroming vanuit waterlopen bij afvoerknelpunt. Ook kleine laagjes water in de lagere delen van bemalen polders. Regionale kades kunnen bedreigd worden door ongecontroleerde instroom van water uit vrij-afwaterend gebied. Als deze breken, kunnen er gevaarlijke situaties ontstaan.
4. Polders en polder-boezemsyste men met kleine/geen bijdrage vanuit andere gebieden	Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden, Friesland, West-Friesland, dijkringen op de Waddeneilanden, Flevoland, Noordoostpolder	Polders die direct op buitenwater afvoeren, of afmalen op een systeem met relatief grote boezemgemaalcapaciteit en/of veel berging	Grootschalige overlast daar waar neerslag valt, vooral in laagste delen van polders en vooral in polders met beperkte poldergemaalcapaciteit en drooglegging. Op veel plaatsen wordt een klein laagje water verwacht. Overlast kan lang aanhouden (meer dan een week), maar leidt in het algemeen niet tot gevaarlijke situaties.
5. Polder-boezemsyste men met grote bijdrage vanuit andere gebieden.	Grote delen van het ARK-NZK beheersgebied, Zuid-Holland (vaste land), grote delen Groningen, West-Brabant (Daar waar Brabantse/Vlaamse beken uitmonden in Mark-Vlietstelsel)	Polders en droogmakerijen met gemalen, grotendeels onder zeeniveau met tussenliggende boezemsystemen met beperkte afvoercapaciteit. Hierdoor kan de afvoer uit polders belemmerd worden door hoge waterstanden op boezems.	Overlast in een groot gebied door tekort aan poldergemaalcapaciteit die eventueel wordt verergerd als berging- en afvoercapaciteit van ontvangende water (boezem/kanaal) te gering is en maalstops nodig zijn om kadedoorbaken te vermijden. Of overlast doordat uit vrij-afwaterend gebied snel grote volumes water afstromen en terecht komen in boezems of wateringen met een beperkte helling en afwateringscapaciteit waardoor daar de peilen snel oplopen en kritisch worden. Ook kunnen polders in die lagere delen hierdoor te maken krijgen met maalstops of hinder in afvoer en dus in langer durende overlast i.h.a. klein laagje water. De overlast door achterblijvend regenwater op maaiveld is niet gevaarlijk. Als een kade breekt, kan dit wel gevaarlijk zijn. De overlast duurt lang. Deze gebieden kenmerken zich door een complexe respons door vele sturingsmogelijkheden en door noodzaak boezemkades te ontlasten.

2.2.2 Landgebruik en kwetsbare objecten

Voor het identificeren van knelpunten is niet alleen informatie nodig over waar water op maaiveld komt te staan, maar ook over de gevolgen hiervan. De kwetsbaarheid voor wateroverlast hangt samen met landgebruik: steden en industrieterreinen zijn vanzelfsprekend gevoeliger voor water op maaiveld of op straat dan bijvoorbeeld graslanden en natuurgebieden. Ook de kwetsbaarheid van vitale infrastructuur is relevant: immers als deze uitvalt, dan heeft dat per definitie een belangrijk effect op de maatschappij. Nutsvoorzieningen zoals netwerken voor het voorzien van bijvoorbeeld elektriciteit en communicatie zijn kwetsbaar. Wegen zijn onbruikbaar wanneer deze onder water staan. Ook het niet functioneren van vitale objecten zoals ziekenhuizen en rioolwaterzuiveringen kan tot belangrijke negatieve gevolgen leiden.

Om een eerste indicatie te geven van kwetsbare gebieden is gekeken naar het landgebruik (zie Figuur 2.5). Later zal informatie over vitale infrastructuur en kwetsbare objecten meegenomen moeten worden.



Figuur 2.5 Kwetsbaarheidskaart op basis van landgebruik.

2.2.3 Respons

Een derde element dat gebruikt wordt om knelpunten te identificeren is de mate van voorbereiding en adequate maatregelen. Bij een grootschalige neerslaggebeurtenis ontstaat wateroverlast in een groot gebied. Deze wateroverlast wordt zoveel mogelijk beperkt door een goede voorbereiding, afstemming tussen de verschillende verantwoordelijke organisaties en adequate maatregelen. Hiervoor staan waterschappen en veiligheidsregio's in samenwerking met provincies, gemeentes, Rijkswaterstaat en bijvoorbeeld beheerders van kritieke netwerken aan de lat. In gebieden waar één provincie, waterschap of veiligheidsregio de wateroverlast moet beperken zal de respons minder complex zijn dan in gebieden waar veel afstemming nodig is tussen verschillende organisaties. In grensoverschrijdende stroomgebieden dient communicatie met België of Duitsland op orde te zijn om tot snelle voorspellingen of crisismaatregelen te komen. Juist in deze vaak vrij-afwaterende gebieden kan de wateroverlast zich snel en hevig voltrekken en is overleg of informatie vanuit het buitenland belangrijk.

Figuur 2.6 geeft een indruk van (watersysteem)gebieden met meer en minder complexiteit in respons. De oranje gekleurde gebieden zijn eruit gelicht omdat deze een complexere responsorganisatie hebben dan de andere gebieden: het ARK-NZK gebied is voor de respons afhankelijk van maar liefst vier waterschappen, 2 regionale directies van Rijkswaterstaat en 3 provincies. In het stroomgebied van de Overijsselse Vecht is zowel internationale afstemming nodig als afstemming tussen waterschappen en bovendien zijn hier zowel wateroverlastsituaties als waterveiligheidssituaties van de Vecht denkbaar en deze vragen een ander protocol en management (zie De Bruijn & Slager, 2022).



Figuur 2.6 Indicatie van responscomplexiteit per stroomgebied op basis van de noodzaak tot samenwerking en afstemming met meerdere organisaties (zie de tekst voor uitleg).

2.2.4 Combinatie tot kaart met kwetsbare gebieden²

Op basis van de analyses zijn de meest kwetsbare gebieden (gebieden waar water komt te staan en waardoor daar significante wateroverlast ontstaat) voor grootschalige neerslaggebeurtenissen (zie Figuur 2.7):

- *Complexe polder-boezemsystemen met grote interactie met andere gebieden*, beperkte berging en afvoer en veel kwetsbaar landgebruik: hier wordt grootschalige wateroverlast verwacht die lang kan aanhouden en is intensieve en complexe calamiteiten- en crisismanagement nodig gedurende lange tijd.
- *Vlakke bemalen gebieden waarop grotere vrij-afwaterende gebieden ongecontroleerd afwateren*, zoals in West-Brabant: Hier kunnen waterstanden in waterlopen snel oplopen tot kritische niveaus waardoor wateroverlast langs de waterlopen kan ontstaan en waardoor polders langs de bemalen watergangen maaltops opgelegd kunnen krijgen met wateroverlast tot gevolg. Steden op de overgang van vrij-afwaterend naar vlakkere gebieden zijn hier extra kwetsbaar.
- *Steden en dorpen langs waterlopen in vrij-afwaterende gebieden*: In de minder-steile vrij-afwaterende gebieden waar ook watergangen met dijken liggen, zijn dijkdoorbraken niet uitgesloten. De steden en vitale of kwetsbare objecten langs deze waterlopen kunnen beschouwd worden als kwetsbare gebieden: er is meer kans op wateroverlast bij dit soort gebeurtenissen en de potentiële schade is er groter. Wanneer de stroomgebieden grensoverschrijdend zijn, is calamiteitenmanagement complexer.

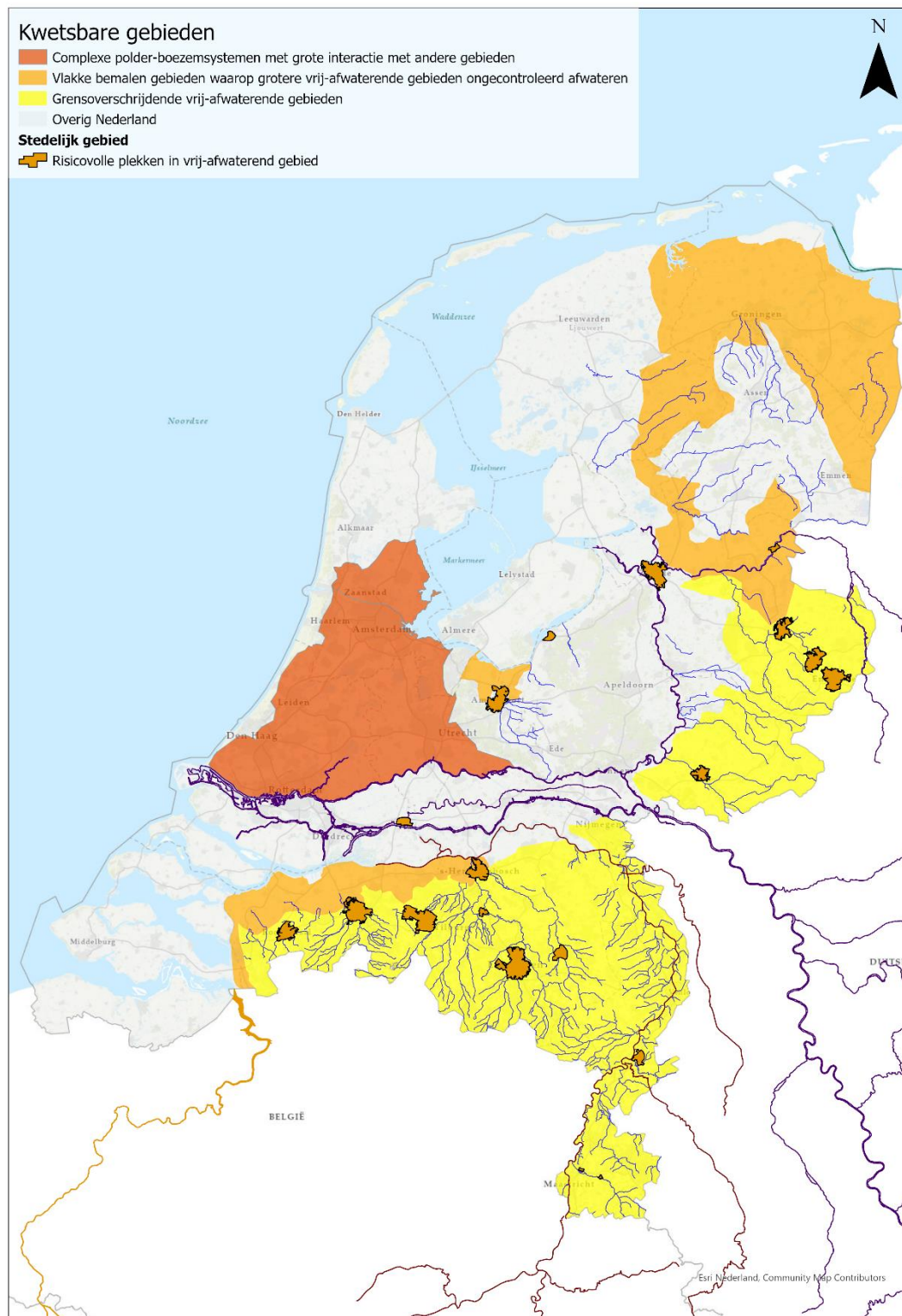
Ad 1). In de complexe polder-boezemsystemen met grote bijdragen uit en of sterke afhankelijkheden tussen verschillende gebieden zijn bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag belangrijk, omdat daar wateroverlast op grote schaal zal ontstaan en bovendien beslissingen over de sturing van het systeem genomen moeten worden (dit in tegenstelling tot ongecontroleerd afstromende gebieden waar sturingsmogelijkheden beperkt zijn). In complexe systemen vragen de keuzes afstemming tussen verschillende organisaties. In deze complexe polder-boezemsystemen wordt het meeste water op maaiveld verwacht buiten de steden, in de lage delen van polders. Wegen op smalle boezemkades en laag gelegen vitale en kwetsbare infrastructuur zijn in het algemeen het meest kwetsbaar. Echter, de wateroverlast die optreedt in steden zal wel veel impact kunnen hebben vanwege de hoge potentiële schade daar. Onder deze categorie valt het ARK-NZK gebied: dit zit al aan zijn grenzen, de kans op wateroverlast is groot, het is kwetsbaar en er is er een complexe samenwerking tussen de betrokken partijen nodig om wateroverlast te voorkomen. Deze complexere calamiteitenmanagementorganisatie maakt de noodzaak van bovenregionale stresstesten groter.

Ad. 2) Onder deze categorie vallen delen van Groningen en Noord-Brabant: hier is de kans op wateroverlast groot, en er liggen kwetsbare steden en vitale objecten. Het grensoverschrijdend karakter in Noord-Brabant maakt de respons meer complex.

Ad 3.) Op de kaart in Figuur 2.7 zijn enkele steden in vrij-afwaterend gebied en op de overgang van vrij-afwaterend naar bemalen gebied aangegeven.

De extra wateroverlast door het grootschalig karakter van neerslag heeft minder effect op de wateroverlast in de poldergebieden met geringe bijdragen uit andere gebieden en geringe interactie met andere gebieden. Wel kunnen waterschappen overmand worden als hun inzet op veel locaties tegelijkertijd nodig zou zijn.

² Met kwetsbare gebieden wordt hier bedoeld: gebieden waar meer kans is op water op maaiveld én waar dit water op maaiveld significante negatieve gevolgen geeft. Het is dus een combinatie van het waterbeeld, de mogelijkheid om gevolgen te beperken en de aanwezigheid van gevoelige objecten of landgebruikstypes.



Figuur 2.7 Eerste indicatie van gebieden waar grootschalige neerslaggebeurtenissen tot meer impact kan leiden dan in andere gebieden. In deze studie zijn drie soorten gebieden geïdentificeerd die extra aandacht behoeven kijkend naar grootschalige neerslag. 1) Complexe polder-boezemsystemen met grote interactie met andere gebieden, 2) Vlakke bemalen gebieden waarop grotere vrij-afwaterende gebieden ongecontroleerd afwateren en 3) Steden in vrij afwaterende gebieden. Ook zijn vrij-afwaterende grensoverschrijdende gebieden aangegeven. Voor de niet gekleurde regio's betekent het niet dat hier geen grootschalige wateroverlast ervaren kan worden, de impact en complexiteit zal naar verwachting minder groot zijn dan in de genoemde gebieden.

2.3 Conclusies en aanbevelingen

Samenvattende conclusie:

De gevolgen van grootschalige neerslag verschillen van gebied tot gebied. De kenmerken van het waterbeeld (verwachte waterdiepte, duur van overlast en mate van gevaar) verschillen, de gevolgen verschillen en de mogelijkheid om adequate maatregelen te nemen verschilt van gebied tot gebied. Er zijn daardoor meer- en minder kwetsbare gebieden en locaties in Nederland. De kaart in Figuur 2.7 geeft een eerste indruk van een landelijk beeld van kwetsbare gebieden² en wordt in de komende jaren verder ingevuld.

De kaart en de inzichten erachter worden gebruikt bij het ontwikkelen van de methode voor bovenregionale stresstesten door grootschalige neerslag in hoofdstuk 5.

Aanbevelingen:

Op basis van de analyse in dit hoofdstuk wordt aanbevolen om de kaart met kwetsbare gebieden² in de komende twee jaar te verbeteren op basis van betere informatie, een daarbij passende heldere visualisatie te ontwikkelen, en om de kaart af te stemmen met beleidsmakers.

Voor het verbeteren van de kaart worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Om het waterbeeld te verbeteren, dat wil zeggen, verder te detailleren en meer kwantitatief te maken kan, zolang de bovenregionale stresstesten nog niet zijn uitgevoerd, het volgende gedaan worden:
 - Voor de vrij-afwaterende gebieden kan met de unit-hydrograph methode een eerste indruk gegeven worden van de te verwachte afvoer uit een stroomgebied bij grootschalige neerslag. Deze afvoer kan bepaald worden voor het benedenstroomse punt van het stroomgebied. Dit kan met name interessant zijn voor verstedelijkte locaties die zich hier bevinden. Als dit veel meer dan de maatgevende afvoer is, dan is dat een aanwijzing voor wateroverlast vanuit de beken. Op basis hiervan kunnen stroomgebieden geïdentificeerd worden die meer/minder gevoelig zijn voor deze neerslag. In Textbox 1 is een voorbeeld gegeven voor Breda waarvoor een snelle analyse is gedaan op basis van de “Limburgbui”.
 - Voor de poldersystemen kan een eerste verkenning uitgevoerd worden door een laag water te verdelen uitgaande van een situatie met poldersloten op streefpeil. Dit geeft een eerste waterdieptekaart en kan gebruikt worden voor het identificeren van de ligging van kwetsbaar landgebruik op lage delen. De gemiddelde waterlaag in millimeters kan eenvoudig bepaald worden met behulp van een neerslaggebeurtenis en een waterbalans voor een ‘standaardpolder’ met voor de regio een typische gemaalcapaciteit (bv. 14 mm), een typische infiltratiesnelheid, bergingsruimte in bodem en sloten en kwel. Stel er valt 200 mm in 2 dagen en de berging (in de sloten en bodem) in die 2 dagen is 40 mm, de infiltratie is 10 mm, de verdamping en kwel zijn nul, en de gemalen pompen 30 mm weg, dan ontstaat een waterlaag van $200 - 40 - 10 - 0 - 150$ mm gemiddeld. Als dit water zich zou concentreren in 1/3 van de polder dan zou in dat laatste deel dus $3 * 150$ mm = 45 cm water komen te staan. De waterdieptes in de reeds uitgevoerde cases varieerden in het algemeen tussen 0 en 50 cm.
- Als er meer bovenregionale stresstesten zijn uitgevoerd kunnen de resultaten daarvan gebruikt worden voor het maken van een betere kaart. Hierbij is ook de informatie over verwachte gevolgen (schades en uitval van vitale functies) van belang. Bovendien zal er na de stresstesten ook meer informatie zijn over de mate waarin de crisismanagementorganisaties gesteld staan voor dit type gebeurtenissen, zodat ook dit meegewogen kan worden.

- Het is ook aan te bevelen de weergave van de kaart door te ontwikkelen en deze zo te maken dat voor beleidsmakers en andere geïnteresseerden snel inzicht te krijgen is waar en waarom kwetsbare locaties en gebieden liggen.

Verder wordt aanbevolen om de kaart af te stemmen met beleidsmakers die werken aan gerelateerde opgaven zoals aan het klimaatbestendig maken van vitale infrastructuur en kwetsbare objecten, en aan het invullen van 'Bodem en Water Sturend'.

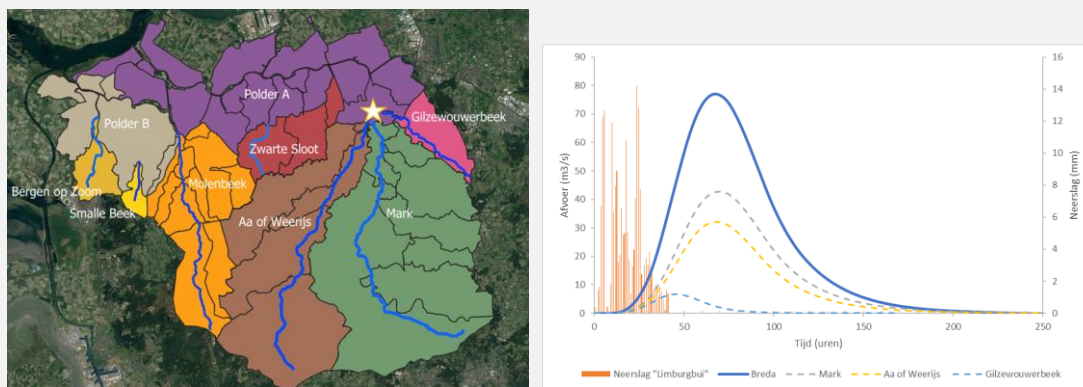
Textbox 1 Toepassing van de unit-hydrograph methode ter indicatie voor verwachte wateroverlast vanuit beken, locatie Breda

In de studie naar stresstesten voor het hoofdwatersysteem (Snippen *et al.*, 2023) is een verkennend onderzoek gedaan om zonder een uitgebreid modelinstrumentarium de beekafvoer als resultaat van hevige neerslag te bepalen. Hiervoor is gebruikgemaakt van een synthetische unit hydrograph methode (Sherman, 1932) en toegepast op de stroomgebieden in West-Brabant. Hiermee wordt geprobeerd een snelle inschatting te maken van de afvoer uit het regionale watersysteem naar het hoofdwatersysteem.

Deze methode maakt gebruik van algemene fysische gebiedskenmerken zoals grootte van het stroomgebied, lengte, helling en landgebruik. Daarnaast dient er een schatting gegeven te worden van de initiële condities die van invloed zijn op het percentage van de neerslag dat oppervlakkig zal afstromen.

In tegenstelling tot een modelmatige aanpak wordt er in deze methode geen rekening gehouden met specifieke kenmerken van het watersysteem noch de menselijke aanpassingen in het systeem als stuwen, bruggen of overloopgebieden. Daarom is gebiedskennis van belang het bij het interpreteren van de resultaten.

Ter illustratie is er een test uitgevoerd voor de regio Breda. Bij de stad Breda komen drie beken samen: de Mark, Aa of Weerijns en de Gilzewouwerbeek. Op basis van een bui met 200 mm in 48 uur (en met gemiddelde initiële condities) is het afvoerloop bepaald bij Breda door de afvoer van de drie beken bij elkaar op te tellen. Deze sommatie resulteerde in een maximale afvoer van 70 à 80 m³/s. Omdat bij het afleiden van deze afvoer geen rekening is gehouden met specifieke gebiedskenmerken, kunstwerken als stuwen en sluizen en ook niet met de afvoerbeperkende opstuwung van de beken op elkaar, moet dit resultaat beschouwd worden als een eerste grove indicatie van de gevoeligheid voor grootschalige neerslag.



3 Relatie bovenregionale stresstesten voor wateroverlast met andere trajecten

3.1 Inleiding

Er zijn diverse normen, standaarden en trajecten die gezamenlijk bijdragen aan het weerbaar maken van een gebied voor regenval en hoogwater. De bovenregionale stresstesten vormen een aanvulling op deze bestaande normen en trajecten. De relatie tussen de bovenregionale stresstesten en bestaande trajecten en normen wordt in deze paragraaf toegelicht. Er zijn ook stresstesten op andere klimaatthema's zoals droogte en hitte. Deze vallen buiten de scope van dit onderzoek.

Om een gebied gesteld te laten staan voor neerslag en hoogwater wordt het watersysteem zo ontworpen dat de meer frequente neerslaggebeurtenissen en hoogwaters niet leiden tot schade. Voor de meer zeldzame neerslaggebeurtenissen en hoogwaters wordt geprobeerd het land zo in te richten en zo voorbereid te zijn dat de wateroverlast die optreedt niet uitmondt in een ramp. Om te zorgen dat meer frequente gebeurtenissen niet leiden tot schade zijn er normen gesteld aan het watersysteem, rioleringssysteem en aan kades en keringen. Voor heel zeldzame extreme regenval of hoogwatergebeurtenissen is dat niet kosteneffectief of niet mogelijk. Voor deze zeldzamere gebeurtenissen worden stresstesten uitgevoerd op basis waarvan eventueel gevolgbeperkende maatregelen uitgevoerd kunnen worden en crisismanagement verbeterd kan worden.

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de bestaande normen en stresstesten. De belangrijkste normen zijn:

- 1 **Normen voor het watersysteem “NBW normen”:** Normen voor wateroverlast zoals vastgelegd in het Nationaal Bestuursakkoord Water: Dit zijn normen voor wateroverlast met name op schaal van Waterschappen of deelgebieden daarvan (stroomgebieden, afwateringsgebieden en/of polders). Deze bepalen de maximale toelaatbare wateroverlast en het ontwerp van het drainage en afwateringssysteem.
- 2 **Ontwerpnormen riolering:** Deze zijn gebaseerd op zeer korte en zeer heftige buien met een herhalingstijd van meestal 2 of 10 jaar en zijn gerelateerd aan de kans dat er water op straat blijft staan.
- 3 **Normen voor regionale keringen (boezemkades, keringen langs regionale rivieren en meren):** Normen voor de sterkte van keringen gerelateerd aan de kans op falen van de kering. Met falen wordt bedoeld dat kades overlopen of doorbreken of water doorlaten zodat het gebied achter de kade schade ondervindt of daar slachtoffers kunnen vallen.
- 4 **Normen voor primaire keringen (Waterveiligheidsnormen):** Voor primaire keringen langs de kust, de grote meren en grote rivieren zijn in 2017 nieuwe waterveiligheidsnormen vastgelegd in de Waterwet die de maximaal geaccepteerde kans geven op overstroming in het door de keringen beschermde gebied. De keringen moeten uiterlijk in 2050 aan deze normen voldoen.

De belangrijkste stresstesten die uitgevoerd worden om beter gesteld staan voor gebeurtenissen die extremer zijn dan waar het water- en afwateringssysteem op worden ontworpen zijn:

- **DPRAs stresstesten:** Voor piekbuien met name op schaal van gemeentes of kleiner: hier wordt gekeken waar en hoeveel water op straat komt te staan bij intensieve (in het algemeen korte) lokale buien. De stresstesten worden uitgevoerd door gemeentes of waterschappen.
- **Bovenregionale stresstesten:** Deze zijn onderwerp van dit rapport. Deze stresstesten zijn nog niet uitgevoerd maar staan gepland voor 2024 (op een enkele na, zie hoofdstuk 4) en gaan over grootschalige neerslaggebeurtenissen zoals bijvoorbeeld het neerslagsysteem dat in juli 2021 is waargenomen in Limburg, België en Duitsland. De neerslagsom en het getroffen gebied zijn hierbij groot, de piekneerslag in een uur hoeft dat niet te zijn. Ook staan er grensoverschrijdende stresstesten en stresstesten voor het hoofdwatersysteem voor grootschalige neerslag gepland voor de komende jaren.

Tabel 3.1 Overzicht van verschillende trajecten gerelateerd aan het weerbaar maken van gebieden tegen wateroverlast en hoogwater.

	Normen voor ontwerp van het watersysteem				Trajecten gericht op maatregelen t.b.v. schadebeperking door bovennormatieve gebeurtenissen	
	Wateroverlast (NBW)	Riolering	Regionale keringen	Primaire keringen en rijkskeringen	DPRAs stresstesten	Bovenregionale stresstesten
Event	Neerslag ¹	Korte intensieve buien	Neerslag ¹	Rivierafvoer/storm	Neerslag ¹	Neerslag ¹
Doel	Ontwerp systeem volgens norm	Ontwerp systeem volgens norm	Ontwerp systeem volgens norm	Ontwerp systeem volgens norm	Aanpassen inrichting zodat bij bovennormatieve neerslag alleen acceptabele overlast optreedt	I.h.a. aanpassen inrichting leidend tot acceptabele overlast bij grootschalige neerslaggebeurtenis, en verbeteren voorbereiding en calamiteitenmanagement
Focus		Keringen en watersysteem			Wateroverlast, Gevolgen Relatie RO, Water en bodem sturend, V&K, crisismanagement	Effect op watersysteem en wateroverlast/duur, gevolgen en respons, Relatie RO, Water en bodem sturend, V&K, crisismanagement
Schaal	Polder/afwateringsgebied	Riool(deel)systeem	dijktraject	dijktraject	Gemeente/ focus op lokale korte intensieve buien	Groot gebied met samenhang andere gebieden
Coördinator	Waterschap	Gemeente	Waterschap	HWBP/WS/provincie	Gemeentes (+ WS)	Provincies i.s.m. WSen, RWS, VR,

¹Eventueel in combinatie met omstandigheden die afwatering bemoeilijken zoals storm en hoge peilen op buitenwater.

Meer informatie over deze normen en de DPRA stresstest is gegeven in bijlage A. Naast deze trajecten is er ook de Richtlijn Overstromingsrisico's van de EU (ROR). In het kader van deze richtlijn worden overstromingsgevaar- en risicokaarten gemaakt op basis van de informatie die gegenereerd is voor bijvoorbeeld het bepalen van passende normen. Deze kaarten worden gedeeld via de website LIWO³.

De keuze voor gebeurtenissen waarop het watersysteem moet worden ontworpen, en welke normen dus gesteld moeten worden, is afhankelijk van de gevolgen van wateroverlast of overstroming, de kosten om die kans op overstroming of wateroverlast te reduceren en van bestuurlijke of maatschappelijke afwegingen. Deze keuze is geen onderwerp van dit rapport.

3.2 De relatie van bovenregionale stresstesten met bestaande trajecten om kwetsbaarheid voor neerslag/wateroverlast en hoogwater te analyseren

Zoals ook in vorige paragraaf is aangegeven zijn er meerdere trajecten die een gebied helpen om gesteld te staan voor extreme neerslag en hoogwater. Er zijn trajecten en standaarden die er voor zorgen dat de riolering, het drainage- en afwateringssysteem en de keringen de vaker voorkomende gebeurtenissen aankunnen zonder dat er wateroverlast ontstaat en er zijn trajecten die zich richten op het beperken van de gevolgen van extreme gebeurtenissen die de ontwerpsituatie te buiten gaan. Deze trajecten leveren een bijdrage aan bijvoorbeeld voorbereiding, crisismanagement en waterrobuuste en klimaatbestendige inrichting, zodat extreme neerslaggebeurtenissen niet leiden tot rampen.

De bovenregionale stresstesten vullen de bestaande trajecten goed aan: ook deze kijken naar bovennormatieve gebeurtenissen en kijken vanuit het perspectief van een gebied naar een grootschalig neerslagsysteem. Dit is aanvulling op de meer lokale stresstesten die tot nu toe gebruikelijk waren in DPRA. Verschillen in (bestaande) DPRA-stresstesten en bovenregionale stresstesten worden veroorzaakt door de duur en intensiteit en de omvang van de bekeken neerslaggebeurtenissen: Veel gemeentes leggen in de DPRA stresstesten de nadruk op korte lokale buien die lokaal veel wateroverlast kunnen geven. In de bovenregionale stresstesten gaat het om weersystemen met een zeer grote omvang (denk aan half Nederland). Omdat in DPRA de focus lag op korte heftige lokale buien, is het watersysteem en de interactie met andere gebieden via het watersysteem meestal niet beschouwd en is vooral gekeken naar oppervlakkige afstroming door zeer intensieve neerslag. In de bovenregionale stresstesten is de neerslag minder intensief maar duurt deze langer en is het totale volume in een groot gebied daardoor groter. Het gedrag van het watersysteem wordt dan cruciaal: dit systeem kan overbelast raken waardoor wateroverlast optreedt. Doordat wateroverlast optreedt op veel locaties tegelijkertijd en de duur langer kan zijn, kan de impact op de maatschappij groot worden en de respons complex. Het bepalen van de gevolgen en respons is onderdeel van de bovenregionale stresstest.

Bij de meeste trajecten wordt eerst de scope en methode bepaald. Vervolgens worden berekeningen gedaan om een waterbeeld, bestaande uit waterdieptekaart en/of waterstandenkaarten, te berekenen. Dan wordt gekeken naar de gevolgen in termen van getroffen objecten of gebieden en schade in euro's bepaald en wordt besproken of de gevolgen acceptabel zijn. Aanvullend worden eventueel strategieën of maatregelen voorgesteld. Deze stappen zijn duidelijk herkenbaar bij de trajecten voor normering van boezemkades, DPRA stresstesten en de ROR en zijn ook voor de hand liggend bij bovenregionale stresstesten (zie bijlage A).

³ LIWO: [Kaarten \(basisinformatie-overstromingen.nl\)](https://www.liwo.nl/kaarten-basisinformatie-overstromingen)

Om bovenregionale stresstesten uit te kunnen voeren is begrip en vaak ook modellering van het watersysteem cruciaal. Het is noodzakelijk interacties tussen gebieden vanwege een samenhangend watersysteem en door samenhang in gevolgen (bijvoorbeeld vanwege schade aan een snelweg of ontwrichting van een stad die ook mensen uit andere regio's treft) en respons mee te nemen in de analyse van bovenregionale gebeurtenissen en ook voor handelingsperspectief dit overkoepelende gebiedsperspectief te behouden. Dit vraagt een andere aanpak dan vaak gebruikt wordt in DPRA stresstesten. Ook zijn mogelijk andere partijen nodig voor risicodialogen dan bij DPRA stresstesten en risicodialogen. De provincies, veiligheidsregio's, Rijkswaterstaat, netwerkbeheerders van een groter gebied kunnen allemaal bijdragen aan risicodialogen voor grootschalige stresstesten. De DPRA stresstesten vinden vaak op een gemeenteschaal plaats met meer lokale stakeholders. Mogelijk kunnen in de toekomst grootschalige stresstesten randvoorwaarden opleveren waar gemeentes meer lokale stresstesten mee kunnen doen.

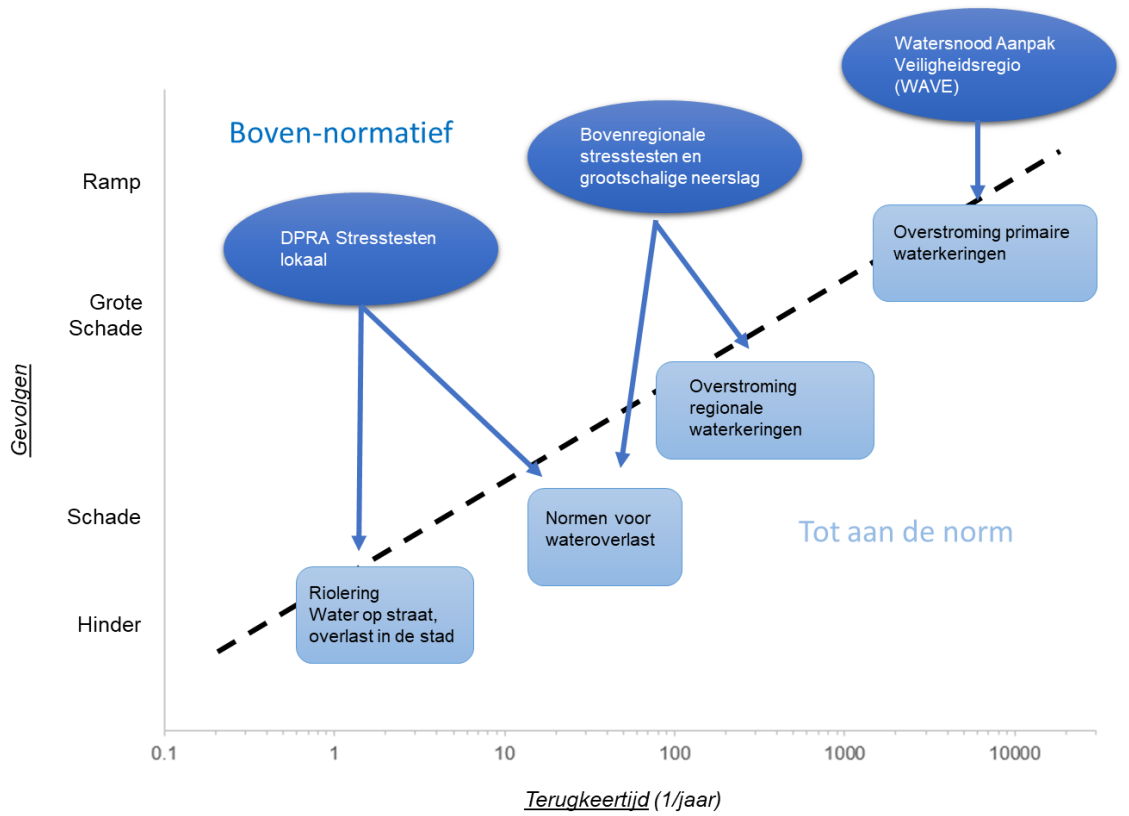
Door het grootschalig karakter van de neerslaggebeurtenis is het ook relevant om te kijken naar de gevolgen voor een gebied als geheel in plaats van op een bepaalde puntlocatie, bijvoorbeeld het effect van uitval van stroom op meerdere locaties, het gecombineerd effect van meerdere ondergelopen wegen en de cascade effecten. Dit in tegenstelling tot methodes waarbij juist gekeken wordt naar de gevolgen van verschillende gebeurtenissen, maar dan op 1 punt en niet voor een gebied, zoals de risicoprofielmethode voor een bepaald ziekenhuis of ander object. Ook het kunnen meenemen van het effect van het grootschalige karakter van de gevolgen op de handelingsperspectieven bij de respons is belangrijk.

De bovenregionale stresstesten zijn nieuw, maar kunnen gebruik maken van veel kennis en modellen die al beschikbaar zijn. Vanuit de andere trajecten genoemd in dit hoofdstuk zijn elementen bruikbaar. Zo kan voor geïsoleerde gebieden (zoals eilanden) mogelijk het waterbeeld van de lokale stresstest gebruikt worden, en kunnen deels modellen en schematisaties gebruikt voor de NBW toetsing, of de overstromingsmodellering gedaan voor doorbraken van (regionale) keringen gebruikt worden. Ook de waterdieptekaarten passend bij een kadedoorbraak kunnen gebruikt worden als indicatie voor de gevolgen van een doorbraak door grootschalige neerslaggebeurtenissen. Hier wordt nader op ingegaan in hoofdstuk 5.

Ook voor het bepalen van de gevolgen van wateroverlast kan de bestaande kennis uit bovenstaande trajecten een goed startpunt vormen. Daarnaast lopen er nog verschillende sporen om de kwetsbaarheid van vitaal en kwetsbare infrastructuur in beeld te brengen. De kennis over kwetsbaarheid van vitaal en kwetsbare infrastructuur, en cascade-effecten opgedaan in andere trajecten kan bij bovenregionale stresstesten gebruikt worden. De uitkomsten uit bovenregionale stresstesten gerelateerd aan de analyse van gevolgen en cascade-effecten via vitale en kwetsbare infrastructuur kunnen mogelijk van nut zijn bij analyses van veiligheidsregio's gerelateerd aan andere typen wateroverlast en hoogwater, zoals overstromingen vanuit het hoofdwatersysteem of door doorbraken van regionale keringen.

De uitkomsten van bovenregionale stresstesten kunnen ook toegeleverd worden aan het ROR-traject en mogelijk ook aan LIWO.

Figuur 3.1 geeft een schematisch overzicht van de verschillende normen en trajecten voor bovennormatieve gebeurtenissen.



Figuur 3.1 Gebiedsrisico-overzicht: De vierkante blokken geven onderwerpen weer waar normen voor zijn die zorgen dat het watersysteem ingericht is op gebeurtenissen die voorkomen met bepaalde overschrijdingskansen en de ovalen geven trajecten weer die zich richten op het voorbereid zijn op bovennormatieve gebeurtenissen.

4 Review uitgevoerde bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslaggebeurtenissen

4.1 Inleiding

Om een methode voor grootschalige stresstesten voor te stellen in hoofdstuk 5 wordt zo goed mogelijk gebruik gemaakt van de ervaringen uit eerder uitgevoerde bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslaggebeurtenissen. Om die reden is een kort overzicht gegeven van de uitgevoerde analyses, de daarin gebruikte methode, de belangrijkste inzichten en de resulterende aanbevelingen. De methode die in hoofdstuk 5 geschetst wordt bouwt voort op de kennis uit deze reeds uitgevoerde stresstesten.

Het hoofdstuk start met analyses gedaan voor Limburg: zowel de analyse van het hoogwater in 2021 als aanvullende systeemverkenningen. Als gevolg van het hoogwater in 2021 in Limburg is op landelijk niveau een discussie opgestart over hoe om te gaan met dit soort zeldzame maar mogelijke grootschalige neerslaggebeurtenissen en het verbeteren van voorbereiding en ruimtelijk beleid om de gevolgen ervan te beperken. Er is in 2021 een hackathon uitgevoerd die heeft laten zien dat dit soort gebeurtenissen elders ook kunnen leiden tot ernstige gevolgen (De Bruijn & Slager, 2022). In december 2022 heeft de Beleidstafel Wateroverlast en Hoogwater aanbevelingen gedaan om beter gesteld te staan voor wateroverlast (Min. I&W *et al.*, 2022) en in 2022 zijn in diverse gebieden bovenregionale stresstesten uitgevoerd om meer inzicht in de mogelijke gevolgen van grootschalige neerslag te krijgen. In de volgende paragrafen zijn twee van deze studies, namelijk die in Zuid-Holland (De Bruijn *et al.*, 2022) en in de Brabantse Delta (Slager *et al.*, 2023) besproken. Ook is de NKWK studie van Kolen *et al.* (2022) beschouwd. Ook daarin is onderzoek gedaan naar bouwstenen voor grootschalige stresstesten. Tenslotte is kort informatie gegeven over de grensoverschrijdende stresstesten en stresstesten voor het hoofdwatersysteem waarin ook gekeken wordt naar grootschalige neerslag.

4.2 Limburg

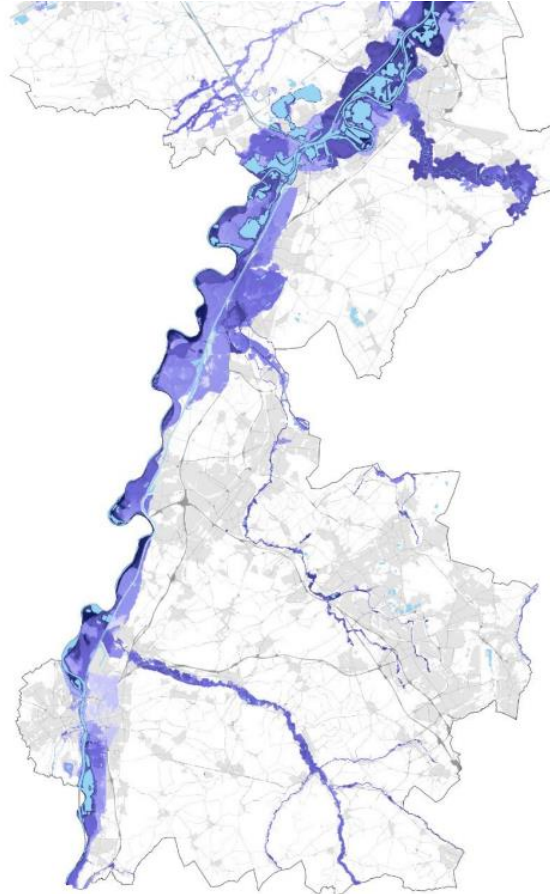
In juli 2021 werden grote delen van Limburg getroffen door een extreme hoeveelheid neerslag. Het water stroomde via het Limburgse heuvelland de rivier- en beeksystemen in met overstromingen en veel schade aan infrastructuur tot gevolg. De naburige gebieden in België en Duitsland werden nog veel zwaarder getroffen: hier zijn woningen weggespoeld en vielen zo'n 200 dodelijke slachtoffers. In de twee jaar na deze gebeurtenis zijn er meerdere studies uitgevoerd om inzicht te krijgen in wat er gebeurd is, wat de bepalende factoren waren en welke maatregelen mogelijk effectief zijn om de kans op of gevolgen van een overstroming te verkleinen. In 2022 heeft Deltares in opdracht van het Waterschap Limburg een watersysteemanalyse uitgevoerd waarin gekeken is hoe het watersysteem functioneert bij extreme neerslag (Asselman & van Heeringen, 2022). Hierin zijn door middel van modelstudies o.a. afvoeren, waterstanden en afstroomvolumes bepaald.

Het zwaarst getroffen Nederlandse gebied is het stroomgebied van de Geul. Hier viel gemiddeld 128 mm neerslag in 48 uur tijd. De herhalingstijd van deze hoeveelheid neerslag wordt geschat op ongeveer 500 jaar. Deze neerslag resulteerde in een piekafvoer in de Geul nabij Valkenburg van 135 m³/s, waardoor deze op veel plekken buiten haar oevers trad. Van deze afvoer kwam ongeveer twee derde uit België. De afvoeren in de andere rivier- en beeksystemen waren minder extreem, maar resulteerde toch ook in wateroverlast in bijvoorbeeld het stroomgebied van de Geleenbeek en Roer. De herhalingstijd van de maximale afvoer van de Geleenbeek van juli 2021 varieerde tussen 1 (nabij de monding) tot 100 jaar (nabij Heerlen). Voor de Roer bestaat nog steeds onduidelijkheid over de precieze afvoer en herhalingstijd. Op basis van Duitse modelberekeningen is deze afvoer geschat op zo'n 260 tot 350 m³/s wat hoort bij een herhalingstijd van ongeveer 100 jaar.

Lang niet alle neerslag kwam snel tot afvoer: In het stroomgebied van de Geul werd ongeveer 30% van de gevallen neerslag snel naar de Maas afgevoerd. Een aanzienlijk deel van de neerslag werd 'gebufferd', met name in de bodem. In het Belgische deel van het stroomgebied is ruim 60% van de neerslag tot afstroming gekomen. Dit verschil wordt verklaard door het feit dat het Belgische deel van het stroomgebied dunnere bodems kent op slecht doorlatende gesteenten. Asselman en van Heeringen (2022) vergelijken de bodem van Nederland met een spons, en die van België met een vaatdoek. Naast het type bodem heeft ook het landgebruik een bijdrage geleverd aan de buffercapaciteit. In de begroeide akkers en beekdalen was de bergingscapaciteit aanzienlijk en werd water langer vastgehouden. Wanneer deze neerslag in de winter zou zijn gevallen op kale akkers en op een minder dicht begroeid gebied, zou de piekafvoer waarschijnlijk hoger geworden zijn.

De gebeurtenis in 2021 leidde ook in Nederland tot gevaarlijke situaties waarin bewoners door water heen geëvacueerd moesten worden, er grote druk kwam te staan op waterbeheerders en crisismanagers met vragen over verwachtingen, de te nemen maatregelen, en de mogelijke inzet van mensen en vragen om coördinatie. In Nederland zijn circa 50.000 mensen geëvacueerd en was de schade ongeveer 400 M€. Lokaal is er kort infrastructuur uitgevallen en beschadigd. De hersteltijd van sommige locaties was lang: in januari 2022 was een deel van de panden in Valkenburg nog niet geschikt voor gebruik. Achteraf is aangegeven dat de water- en calamiteitenmanagers zich niet goed voorbereid voelden, dat de informatievoorziening en waarschuwingen beter hadden gekund en ook dat nagedacht zou moeten worden over de toekomst: heeft dit implicaties voor het ruimtelijk beleid in de rivierdalen van Limburg of zou het dat moeten hebben? (ENW, 2021).

Om inzicht te krijgen in de gevolgen zijn er in de watersysteemanalyse gevaarkaarten gemaakt voor verschillende rivier- en beeksystemen. Hieruit bleek dat er langs de Roer veel overstromingsgebieden zijn die als gevaarlijk worden aangemerkt. Langs de Geul en Geleenbeek is het gevaar minder, maar is op veel plekken het gevaar nog steeds vergelijkbaar met de buitendijkse gebieden langs de Maas (zie Figuur 4.1). Verder is er gekeken naar mogelijke maatregelen om de gevolgen van toekomstige overstromingen te verkleinen. Hier is met name gefocust op maatregelen met een waterstandsverlagend effect als water vasthouden/bergen, verruiming van bruggen en duikers. Naast de waterstandsverlagende maatregelen is er ook gekeken naar de aanleg van kades om mogelijke overstromingen te voorkomen. Verder is een belangrijke aanbeveling het minimaal in stand houden en waar mogelijk vergroten van de sponswerking van het Limburgse heuvelland. Ondanks deze maatregelen wordt er verwacht dat overstromingen tijdens een gebeurtenis als juli 2021 niet geheel voorkomen kunnen worden. Daarom is het belangrijk om de focus te verleggen naar gevolgbeperking in de vorm van aanpassingen in de ruimtelijke ordening, vergroten van het waterbewustzijn bij burgers en verbeterde crisisbeheersing (Asselman & van Heeringen, 2022).



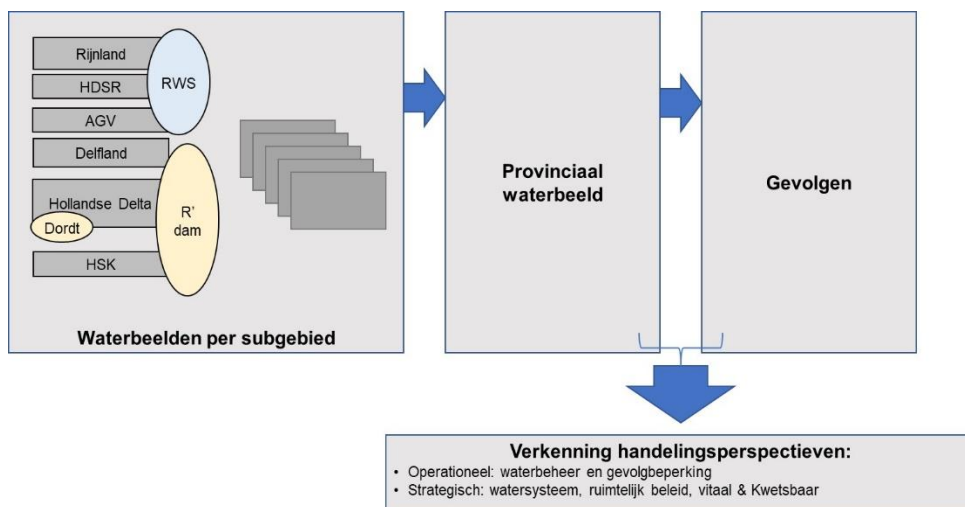
Figuur 4.1. Overstromingsgevaarkaart voor Zuid-Limburg. De kans op een overstroming is gecombineerd met de intensiteit van een overstroming, waarbij de intensiteit is geschaald als de verwachte schade aan een eengezinswoning met een waarde van 200 duizend euro (bron: figuur 10.11 uit Asselman & Van Heeringen, 2022).

4.3 Zuid-Holland

Als eerste invulling van de aanbeveling uit de hackathon van Deltares (De Bruijn & Slager, 2022) is door Deltares en de Provincie Zuid-Holland in samenwerking met de waterschappen, RWS en de gemeenten Dordrecht en Rotterdam een bovenregionale casestudie uitgevoerd naar wat er kan gebeuren als er een grootschalige neerslaggebeurtenis zou optreden in Zuid-Holland (De Bruijn *et al.*, 2022).

Gebruikte Methode

Een overzicht van de gevolgde methode in de casestudie is gegeven in Figuur 4.1. Er is per watersysteem een analyse gedaan door de waterschappen en deze zijn vervolgens gecombineerd tot een provinciaal waterbeeld. Eerst zijn scenario's geselecteerd, vervolgens is het daarbij passende waterbeeld bepaald deze zijn samengevoegd tot een provinciaal waterbeeld. Ook zijn gevolgen bepaald en is handelingsperspectief verkend. Voor de analyse zijn de scenario's zoals weergegeven in Tabel 4.1 en Figuur 4.2 gebruikt.

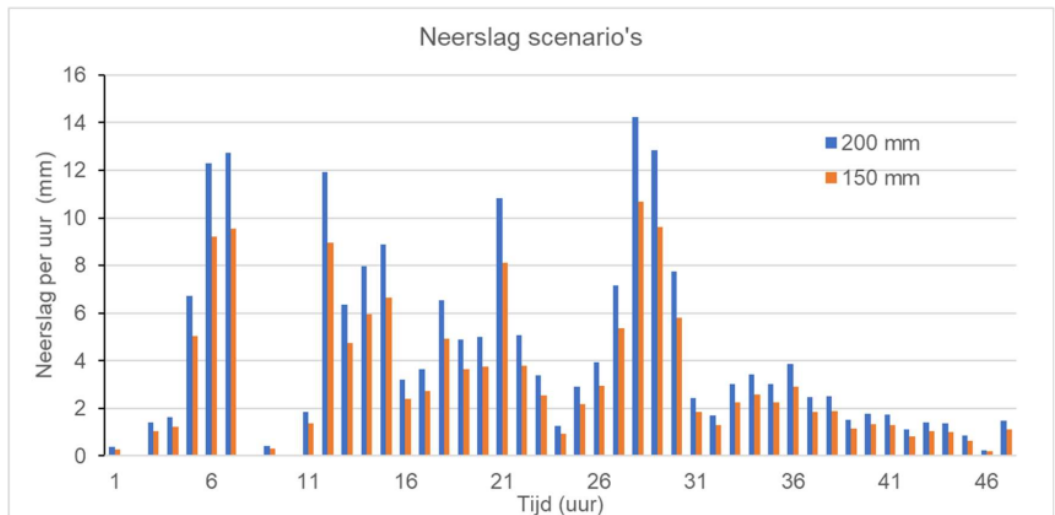


Figuur 4.1 Aanpak schematisch weergegeven.

Tabel 4.1. Scenario's gebruikt in de casestudie voor Zuid-Holland.

Neerslag (48 uur)	Initiële situatie	Buitenwater	Response	Calamiteiten
150 mm	Droog	Normaal Geen storm	Maatregelen volgens protocol	Geen doorbraken Geen uitval pomper
150 mm	Nat			
200 mm	Droog			
200 mm	Nat			

De referentiescenario's verschillen vooral in aangenomen neerslaghoeveelheden en initiële condities (zie tabel 4.1). Er is gekozen om twee (ruimtelijk) uniforme hoeveelheden neerslag te hanteren: 150 en 200 mm in 48 uur. Er is voor gekozen om het tijdsverloop van de extreme neerslag in Limburg te hanteren. De uur-neerslag is vervolgens geschaald naar een totaal van 150 en 200 mm in 2 dagen (zie Figuur 4.2). Merk op dat de maximale urneerslag in beide scenario's niet boven de 15 mm uitkomt; een hoeveelheid die jaarlijks overal in NL wel een keer valt. Er is een initieel nat en een initieel droge situatie aangenomen voor beide neerslaghoeveelheden.



Figuur 4.2 Tijdsverloop van extreme neerslag gebaseerd op de uurneerslag van de juli 2021 gebeurtenis.

De scenario's zijn doorgerekend voor de beheersgebieden van Hoogheemraadschap Rijnland, Hoogheemraadschap Delfland, Hoogheemraadschap Schieland en de Krimperwaard en Waterschap Hollandse Delta. De resulterende waterdieptes, duur van water op maaiveld, schades, en getroffen infrastructuur is in beeld gebracht. Daarnaast is een korte verkenning gedaan van de effecten voor het ARK-NZK systeem: Om de respons en het handelingsperspectief te verkennen is voor het gebied van het ARK-NZK systeem in dit project een storyline benadering toegepast in werksessies. Hierbij is een scenario doorgeredeneerd samen met waterschappen en Rijkswaterstaat vanaf de voorspelling tot na het dalen van de waterstanden en is op verschillende momenten in de tijd gekeken wat de response zou zijn, en wat de effecten daarvan zouden zijn (De Bruijn *et al.*, 2022).

Resultaten van de studie

De resultaten van de casestudie zijn in lijn met de resultaten van de hackathon. De casestudie laat zien dat grootschalige neerslag in de provincie Zuid-Holland leidt tot ongekende wateroverlast waarbij de schade in de miljarden zal lopen. Op veel plaatsen komt langdurig water op maaiveld te staan. Veel boezemwatergangen in Delfland en Rijnland krijgen te maken met kritische waterstanden en boezemkadedoorbraken zijn niet uitgesloten.

De casestudie leidde ook tot enkele belangrijke aanvullingen op dit algemene beeld:

- Het blijkt dat het stedelijk gebied veel minder wordt getroffen dan het landelijke gebied. Dat heeft te maken met de strengere normen waardoor er meer pompcapaciteit en hogere kades zijn. Het komt ook doordat verstedelijking op relatief gunstige (hoger gelegen) plaatsen heeft plaatsgevonden.
- Hoewel in aantal veel electriciteitsstations getroffen worden bij grootschalige neerslaggebeurtenissen (ongeveer 450 laagspanningsstations en 320 middenspanningsstations) zal op de meeste locaties de elektriciteit blijven functioneren. Dit komt doordat meer dan 90% van de electriciteitsstations voldoende hoog ligt.
- Van de kwetsbare objecten krijgt slechts 5% te maken met waterdieptes groter dan 5 cm. Dit zijn ongeveer 180 kwetsbare objecten.
- Veel laaggelegen weggedeeltes en tunnels zullen onderlopen waardoor de bereikbaarheid van belangrijke locaties zoals ziekenhuizen, of brandweerkazernes af zal nemen.
- Grootschalige neerslaggebeurtenissen zullen extra wateroverlast veroorzaken in gebieden waarin watersystemen veel interacties/afhankelijkheden kennen tussen

subgebieden of met naburige gebieden. In gebieden waar individuele polders afmalen naar het buitenwater maakt het voor de wateroverlast in de polder niet uit of het ook buiten de polder regent. Dit blijkt onder andere uit de verschillen tussen de resultaten voor Hollandse Delta en Rijnland/Delftland.

- Het ARK-NZK systeem (Amsterdam-Rijnkanaal & Noordzee Kanaal) (wat ook veel water uit Zuid-Holland afvoert) blijkt zeer kwetsbaar voor grootschalige neerslaggebeurtenissen. Bovendien is crisisbeheersing in dit gebied waarbij verschillende waterschappen, veiligheidsregio's, en Rijkswaterstaat betrokken zullen zijn extra complex. Er zullen maaltbeperkingen ingesteld worden bij dit soort events waardoor de wateroverlast in de polders groter en langduriger zal worden. Ook kan Amsterdam te maken krijgen met (riool)water op straat. De informatie over mogelijke maatregelen en hun effecten, het proces van besluitvorming en communicatie zouden hiervoor verder verbeterd moeten worden.

De studie geeft aan dat om beter gesteld te staan voor grootschalige neerslaggebeurtenissen een betere voorbereiding nodig is zodat het nemen van beslissingen gemakkelijker wordt. Verder kunnen de resulterende waterbeelden en inzichten over gevolgen bijdragen aan het uitwerken van het principe 'bodem en water stuurt'.

Conclusies over de methode voor het uitvoeren van bovenregionale stresstesten

Op basis van de studie zijn ook conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan over de methode voor het uitvoeren van bovenregionale stresstesten in bemalen gebieden zoals Zuid-Holland. De belangrijkste aanbevelingen met betrekking tot de methode uit deze casestudie zijn:

- 1 Gebruik enkele realistische scenario's en werk die helemaal uit samen met verschillende organisaties in plaats van het snel analyseren van vele scenario's in een probabilistische risico analyse. Dit omdat bij bovennormatieve gebeurtenissen communicatie met andere partijen en sectoren cruciaal is om te bepalen wat er kan gebeuren, wat de implicaties voor sectoren en functies zijn en de bepalende factoren daarbij en om handelingsperspectieven te verkennen. Deze communicatie is eenvoudiger met behulp van een of enkele realistische scenario's dan met een samengestelde uitkomst uit een probabilistische risicoanalyse.
- 2 Geef bij de keuze van een casestudie prioriteit aan gebieden met samenhangende watersystemen of interactie tussen watersystemen.
- 3 Het is lastig om bestaande modellen te gebruiken: er zijn extra analyses met bijvoorbeeld GIS-tools nodig en systeemkennis om waterdiepte- en duurkaarten te maken en om te bepalen of de resultaten een goed beeld geven van de wateroverlast en voor welke gebieden de resultaten betrouwbaar zijn en waar deze mogelijk een onderschatting of overschatting geven. De bestaande modellen zijn immers veelal ontwikkeld voor andere doelen en voor het doorrekenen van minder extreme neerslaggebeurtenissen. Ook is het lastig om een model te maken dat zowel de interactie tussen verschillende watersystemen (stedelijk, regionaal, hoofdwatersysteem) meeneemt, als een gedetailleerd ruimtelijk beeld te verkrijgen is omdat beiden een andere aanpak vragen.
- 4 Bepaal het meest geschikte model voor de schatting van monetaire schade voor dit soort grootschalige events (SSM2017 regionale module, of de Waterschadeschatter). Kijk ook naar het effect van de duur van wateroverlast op de schade.
- 5 Volg ander lopend onderzoek (zoals bijvoorbeeld in de Brabantse Delta, Rijn en IJssel, het NKWK project waarin naar gevolgen van grootschalige wateroverlast op vitale functies wordt gekeken (Honingh *et al.*, 2023), en meteorologisch onderzoek over kansen.
- 6 Vertaal de inzichten uit bovenregionale stresstesten naar bruikbare kaarten, informatie en principes of handvatten voor Ruimtelijk beleid en crisisbeheersing.

4.4 Case studie grootschalige wateroverlast in de Brabantse Delta

Deltares en Waterschap de Brabantse Delta hebben gezamenlijk de studie 'Watersysteemanalyse bovenregionale wateroverlast Brabantse Delta: een eerste verkenning van de mogelijke impacts van de Limburgbui boven het beheergebied van het waterschap' uitgevoerd (Slager *et al.*, 2023). In deze studie zijn verschillende scenario's met verschillende neerslag en initiële condities bekeken en zijn met modelberekeningen, en expert judgement de gevolgen bepaald.

De studie laat zien dat voor dit gebied het beschikbare modelinstrumentarium niet goed in staat is om een eenduidig en compleet beeld te schetsen voor dit soort extreme omstandigheden. De studie concludeert daarom dat het voor waterschap met de huidige beschikbare kennis en modellen lastig is om voor of tijdens een grootschalig neerslagevent adequate informatie te leveren aan anderen.

De indruk vanuit deze studie is dat in grote delen van Brabant wateroverlast zou kunnen ontstaan, met fors buiten de oevers tredende beken in de stroomgebieden van de Aa of Weerij en de Bovenmark. Ook grote delen van landbouwgebieden in de polders kunnen langdurig (meerdere dagen tot langer dan een week) onder een laagje water van maximaal enkele decimeters komen te staan. Ook kunnen kritische waterstanden optreden op de Mark-Vliet-Dintel boezem. Indien de grootschalige extreme neerslag volledig boven het beheergebied van de Brabantse Delta uitregent, wordt de totale directe schade door Slager *et al.* (2023) grofweg geschat op honderden miljoenen euro's en worden er ook honderden huishoudens getroffen. Indien er regionale waterkeringen bezwijken kan de directe schade verder oplopen tot meer dan een half miljard euro. De studie laat zien dat de resultaten afhangen van de initiële bodemvochtsituatie, de hoeveelheid oppervlakkige berging in de bovenlopen van de beken (vooral ook in Vlaanderen) het meerpeil van het Volkerak Zoommeer en de inzet van het noodbergingsgebied (Krijtenbergsepolder). De invloed van het falen van kunstwerken wordt als groot benoemd, maar is in deze studie niet gekwantificeerd.

Slager *et al.* (2023) hebben zeven aanbevelingen gedaan, waaronder het verbeteren van operationele informatiesystemen en het vergroten van de kennis over het functioneren van het water- en bodemsysteem onder extreme omstandigheden in samenwerking met Vlaanderen. Het waterschap gebruikt de studie om de voorbereiding voor grootschalige wateroverlast te verbeteren. Slager *et al.* (2023) stellen hierbij dat het gezamenlijk voorbereiden en het gezamenlijk kweken van bewustwording van potentiële grootschalige wateroverlast door het waterschap, de gemeenten, provincie, veiligheidsregio's, Rijkswaterstaat en vitale infrabeheerders cruciaal is.

De in deze studie gebruikte methode komt op hoofdlijnen overeen met de methode gebruikt voor Zuid-Holland. Belangrijke observaties met betrekking tot de gebruikte methode zijn:

- 1 Het doen van gevoeligheidsanalyses geeft een bandbreedte van de gevolgen en een indicatie van het belang van aannames en is een meerwaarde;
- 2 Het bepalen van een realistisch dreigingsbeeld voor de beken bleek niet mogelijk met de operationele modellen. Daarom is ook expert judgement gebruikt. Ook zijn berekende volumes geborgen water met een waterverspreiderstool verspreid om een beeld te krijgen van waar exact dit water op maaiveld 'wordt geborgen' (blijft staan). (De hierbij gebruikte tool en methode komen overeen met de methode gebruikt in Zuid-Holland).

4.5 NKWK-project “Methodiek voor uitwerken bovenregionale extreme neerslagsscenario’s”

In het NKWK onderzoek in het werkpakket Wateroverlast en overstroming 2022 is een “methode opgesteld om voor extreme neerslag bovenregionale credible gebeurtenissen samen te stellen” (Kolen *et al.*, 2022). De methode is toegepast op 2 cases: Den Bosch en het Amsterdam-RijnKanaal en Noordzeekanaal Systeem (ARK//NZK). In de rapportage ligt veel nadruk op de kans van gebeurtenissen en de bijdrage van de gebeurtenissen aan het totale risico op een bepaalde puntlocatie. De cases dienen vooral om de methode te illustreren en zijn gebaseerd op bestaande informatie, literatuuronderzoek en interviews.

De volgende stappen worden genoemd:

- 1 Opstellen gebiedsbeschrijving
- 2 In kaart brengen omgevingsfactoren die bijdragen aan ernst en omvang wateroverlast
- 3 Samenstellen van groslijst mogelijke gebeurtenissen
- 4 Selectie van representatieve bovenregionale credible gebeurtenissen
- 5 Impact bepaling van de gebeurtenissen met schademedellen en op basis van expertschattingen
- 6 Bepalen relevantie van de gebeurtenis voor het beslisprobleem.

Deze stappen zijn verder uitgewerkt in de rapportage van Kolen *et al.* (2022).

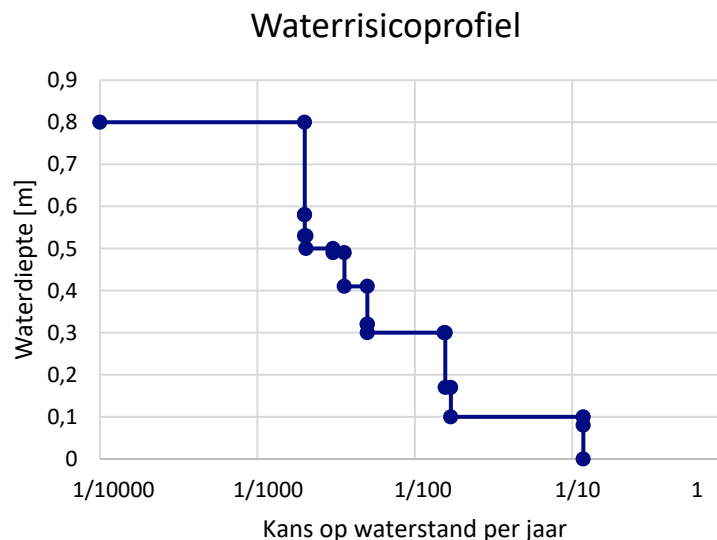
Het belang van grootschalige neerslaggebeurtenissen voor een gebied, de methode om dergelijke gebeurtenissen te modelleren of om een waterbeeld te bepalen, en een meer diepgaande analyse van een scenario waren geen onderdeel van dit project. Wel is voor enkele bouwstenen van de methode verdiepend onderzoek gedaan, zoals naar een schade-opslagfactor en naar vitaal en kwetsbare infrastructuur. Het onderzoek is daarmee min of meer complementair aan de Zuid-Holland case (zie paragraaf 4.2).

In stap 3 ‘samenstellen gebeurtenissen’ worden scenario’s samengesteld op basis van verschillende factoren of elementen en wordt een kans toegekend op basis van beschikbare data over bijvoorbeeld statistiek over maximale waterstanden (Hydra-NL), neerslagstatistiek en expert judgement om afhankelijkheden en missende kansinformatie te schatten. Dit leidt tot een lijst met gebeurtenissen met verschillende kansen. Er wordt gesteld dat vervolgens per kansklasse twee gebeurtenissen moeten worden geselecteerd: een met naar verwachting hoge en een met lage gevolgen.

De beschouwde elementen in de scenario’s zijn grotendeels vergelijkbaar met de casestudie voor Zuid-Holland: In de NKWK-studie van Kolen *et al.* (2022) is uitgegaan van dezelfde neerslaghoeveelheden als in de studie van Zuid-Holland (De Bruijn *et al.*, 2022) en is een scenario ook opgebouwd uit neerslag, buitenwatercondities, initiële condities en uitgangspunten m.b.t. functioneren van het watersysteem. In Kolen *et al.* (2022) zijn dijken en dijkdoorbraken echter als aparte categorie opgevoerd, terwijl in Zuid-Holland deze vallen onder de categorie ‘functioneren van het watersysteem’. T.o.v. de studie voor Zuid-Holland ontbreekt Kolen *et al.* (2022) de categorie ‘aannames met betrekking tot respons’.

De methode die gebruikt is door Kolen *et al.* (2022) om een waterbeeld te genereren is niet toegelicht in Kolen *et al.* (2022). De focus van Kolen *et al.* (2022) lag meer op het bepalen van de gevolgen. Hier zijn de schademodelden HIS-SSM (Regionale module) en de waterschadeschatter vergeleken en worden aanbevelingen gedaan om de schadeschattingen te verbeteren. Tenslotte is gekeken naar de relevantie van bovenregionale stresstesten vanuit verschillende perspectieven (stap 6). Hier wordt nader ingegaan op:

- 1 Ruimtelijke ordening waarbij met name de lokale keuzes centraal staan: Er is gesteld dat bovenregionale stresstesten alleen relevant zijn voor een bepaalde locatie of object als er geen gebeurtenissen zijn met een grotere kans leidend tot een vergelijkbare waterdiepte op die locatie. Er wordt door Kolen *et al.* (2022) niet ingegaan op ruimtelijke ordening in een gebied: wat kan het beste waar, welke gebieden zijn nodig voor waterberging of andere maatregelen. Gebeurtenissen die in de grafiek van Figuur 4.3 uitkomen op of boven de waterrisicoprofielcurve zijn volgens deze aanname relevant.
- 2 Risicoanalyse voor het watersysteem: Er wordt aangegeven dat als de gevolgen groot zijn, deze bovenregionale stresstesten mogelijk relevant kunnen zijn om mee te nemen bij de normering van watersystemen.
- 3 Crisisbeheersing: De relevantie voor planvorming en uitwerking van crisismanagement wordt besproken.



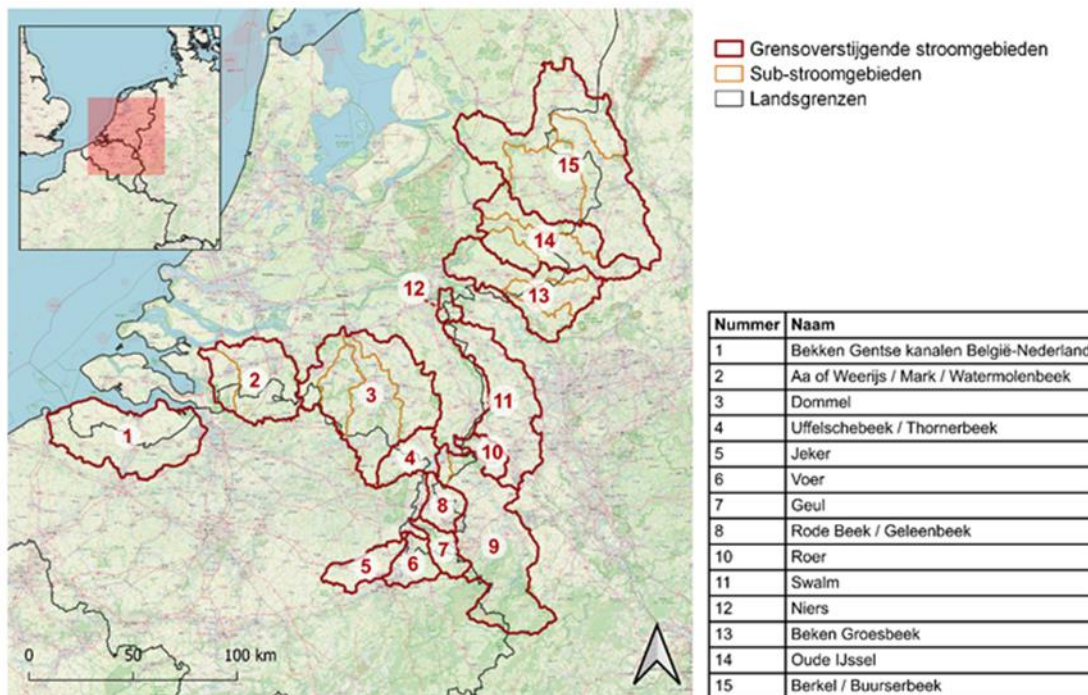
Figuur 4.3 Voorbeeld van een waterrisicoprofiel voor een locatie of object zoals bedoeld in het NKWK project (Bron: figuur 8 uit Kolen *et al.*, 2022).

De studie resulteert in 3 aanbevelingen (Kolen *et al.*, 2022):

- 1 Ontwikkel een stresstest bovenregionale wateroverlast en werk aan standaardisatie en uniformiteit in de aanpak
- 2 Stel een afwegingskader op voor risicoanalyse dat past bij bestaande normering
- 3 Kijk op verschillende niveaus naar gevolgen: breng in kaart welke functies kunnen worden geraakt, analyseer vervolgens voor die functies of het effect van bovenregionale gebeurtenissen relevant is t.o.v. andere oorzaken van uitval van die gevolgen en weeg ten derde mee dat de bijdrage van zeldzame gebeurtenissen met grote gevolgen aan het risico mogelijk zwaarder zouden moeten wegen dan op basis van de kans wordt verwacht (vanwege risico-aversie).

4.6 Grensoverschrijdende stresstesten

Dit project is in 2023 gestart en loopt nog. In dit traject is een overzicht gemaakt van grensregio's met alle relevant grenswateren, de organisaties, modellen, data en bestaande studies in die gebieden. Vervolgens wordt een stresstestmethode ontwikkeld in afstemming met de methode voor bovenregionale stresstesten, en de case Zuid-Holland en ARK-NZK en voor WRIJ (Slager, 2023). Er wordt gestart met het ontwikkelen en toepassen van een grensoverschrijdende stresstest voor het stroomgebied van de Aa of Weerij/Mark/Molenbeek (nr 2 in Figuur 4.4). Omdat men in Vlaanderen niet alleen naar wateroverlast kijkt, maar ook naar droogte zal deze stresstestmethode ook kijken naar de gevolgen van zowel extreme neerslag als langdurige droogte.



Figuur 4.4 Grensoverschrijdende stroomgebieden (Slager, 2024).

4.7 Stresstest hoofdwatersysteem

In dit onderzoek is in 2023 een methode ontwikkeld. De werkbaarheid van de methode is getoetst door deze toe te passen op het Volkerak-Zoommeer (Snippen *et al.*, 2023). In de volgende jaren zal deze methode toegepast worden op verschillende delen van het hoofdwatersysteem in Nederland. De methode-ontwikkeling wordt zoveel mogelijk afgestemd met de methode ontwikkeling beschreven in dit rapport en met die van de grensoverschrijdende stresstesten. Dit betekent bijvoorbeeld dat de scenariokeuze wordt afgestemd. Idealiter kunnen ter zijne tijd de resultaten van de bovenregionale en grensoverschrijdende stresstesten en stresstesten voor het hoofdwatersysteem gecombineerd worden: het hoofdwatersysteem kan bijdragen aan het analyseren van mogelijke buitenwatterrandvoorwaarden in situaties met grootschalige neerslag en de resultaten van de bovenregionale stresstesten leveren bruikbare informatie over de afvoer naar het buitenwater bij dergelijke grootschalige neerslag.

4.8 Conclusie uit bestaande informatie voor de te ontwikkelen methode

Op basis van de ervaringen met eerdere stresstesten worden de volgende conclusies getrokken:

- Het is belangrijk om snel te komen tot een scenariokeuze die in verschillende stresstesten voor grootschalige neerslag (bovenregionaal, die voor het hoofdwatersysteem en grensoverschrijdende stresstesten) gebruikt kan worden, zodat de resultaten tussen de verschillende stresstesten te vergelijken en uit te wisselen zijn. Een voorstel hiervoor is beschreven in paragraaf 5.4 en deze is overgenomen in de handreiking voor bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag (De Vries *et al.*, in prep.)
- Het modelleren van grootschalige zeer extreme neerslag is nog geen standaardactiviteit: er bestaat nog geen geschikt modelinstrumentarium voor. Om die reden is vaak maatwerk nodig of zijn naast het rekenen met bestaande modellen slimme aanvullende analyses nodig bijvoorbeeld met GIS bewerkingen, of door nauwkeuriger te kijken daar waar de resultaten niet plausibel zijn. Hiervoor is vanzelfsprekend systeemkennis onmisbaar. Ook is kennisontwikkeling over hoe dit gemodelleerd kan worden aan te bevelen.
- De gevolgen van grootschalige neerslag die inzichtelijk worden in de stresstesten zijn relevant voor de risicodialoog, maar het detailniveau dat gegeven wordt in de reeds uitgevoerde stresstesten is niet heel groot: het gaat om aantallen getroffen, ordes van grootte van schades, getroffen oppervlaktes en dergelijke. Op basis van de bepaalde informatie kunnen bijvoorbeeld wel kritieke locaties of objecten worden geïdentificeerd, maar kunnen geen detailontwerpen van maatregelen worden genomen.
- In de besproken toepassingen ontbreekt nog een nadere analyse van effecten op vitale en kwetsbare infrastructuur. Hier loopt momenteel wel onderzoek naar in verschillende trajecten zoals het NKWK project van Kolen *et al.* van 2023 (Kolen *et al.*, in prep.), onderzoek in het kader van het kennisprogramma Wateroverlast en bij verschillende veiligheidsregio's.

Deze conclusies worden meegenomen in hoofdstuk 5 bij het voorstellen van een methode en in de aanbevelingen in hoofdstuk 6.

5 Methode bovenregionale stresstesten op hoofdlijnen

5.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft het voorstel voor de methode voor bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag. Deze is gebaseerd op de discussie en analyse ten behoeve van het eerste landelijk beeld in hoofdstuk 2. Er is aansluiting gezocht bij de methodes gebruikt in andere stresstesten en voor de normering van wateroverlast en het watersysteem (beschreven in hoofdstuk 3) en gebruik gemaakt van de ontwikkelde kennis en reeds bestaande methodes (beschreven in hoofdstuk 4).

Om straks de resultaten van de bovenregionale stresstesten te kunnen gebruiken voor het maken van een landelijk beeld en te kunnen aggregeren in een totaalbeeld is enige uniformiteit in de methode nodig. Het belangrijkste hiervoor is het gebruik van een of enkele gelijke basisscenario's. Ook is het hiervoor belangrijk dat minimaal eenzelfde set basisparameters gerelateerd aan het waterbeeld, en gevolgen bepaald is, en ook is het goed als in alle stresstestregio's de response geanalyseerd wordt. Deze drie elementen samen geven een beeld van de mate waarin een regio gesteld staat voor grootschalige neerslag (zie hoofdstuk 2).

Dit hoofdstuk vat eerst het doel van de bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag samen, en geeft dan een voorstel voor de methode op hoofdlijnen, en onderbouwing voor de regio-indeling (in paragraaf 5.2, 5.3). Vervolgens wordt in meer detail ingegaan op de scenariokeuze, het bepalen van het waterbeeld en van de gevolgen in paragraaf 5.4, 5.5 en 5.6. Ook wordt kort het bepalen van mogelijke respons en verkenning van handelingsperspectieven besproken in paragraaf 5.6 en 5.7.

5.2 Overzicht van de methode

5.2.1 Beoogd doel van de bovenregionale stresstest voor grootschalige wateroverlast

De bovenregionale stresstest geeft inzicht in de gevolgen van een grootschalige neerslaggebeurtenis en is bedoeld als input voor de regionale risicodialoog waarin de acceptatie van wateroverlast en mogelijke maatregelen of oplossingsrichtingen wordt besproken. De stresstest zelf geeft geen acceptatieoordeel, geen besluiten over maatregelen, dimensies of kosten van maatregelen.

Voor het invullen van de stresstest en het bepalen van de te analyseren situaties is een beschouwing van de context en bijvoorbeeld de geplande of gewenste ontwikkelingen in het gebied nuttig. Ook na uitvoering van de stresstest, in de risicodialoofase worden de resultaten van de stresstest weer in een bredere context bekeken om eventuele mogelijke besluiten en maatregelen te overwegen, zoals:

- Acceptatie van de gevolgen;
- Aanpassen van het watersysteem en of objecten daarin;
- Voorbereiding en verbetering calamiteitenmanagement;
- Verbeteren waterbewustzijn bij burgers zodat die zich kunnen voorbereiden of aanpassen;
- Verbeteren/versnellen/voorbereiden herstel en reparatie
- Implicaties voor ruimtelijk beleid zoals ruimte voor waterberging en eisen aan ruimtelijke ontwikkelingen.

Ook kunnen de resultaten bijdragen aan het uitwerken van bijvoorbeeld plannen gerelateerd aan vitaal en kwetsbare infrastructuur, ruimtelijke adaptatie, crisismanagement en omgevingsbeleid.

Bovendien leveren de bovenregionale stresstesten informatie toe aan een landelijk overzichtsbeeld van kwetsbare gebieden voor bovenregionale wateroverlast en aan het landelijke geaggregeerde kaart (zie hoofdstuk 2). Om zo'n landelijk overzichtsbeeld en geaggregeerde kaart te maken en gebieden te vergelijken is het belangrijk dat de stresstesten vergelijkbaar zijn qua uitgangspunten en type informatie dat gegenereerd wordt. De keuze voor de te bekijken scenario's is hierbij het meest cruciaal om landelijk af te stemmen. Immers alleen door ten minste een of meerdere gelijke scenario's te bekijken kan een landelijk consistent beeld worden gegenereerd en kunnen vergelijkingen van gebieden gedaan worden of kunnen analyses voor een deelgebied op verschillende wijzen gecombineerd worden. Zo kunnen bij een consistente werkwijze bijvoorbeeld de resultaten voor het beheersgebied van Hoogheemraadschap Rijnland gevoegd worden bij een beeld van heel Zuid-Holland, bij Noord-Holland of bij een analyse voor het afwateringsgebied van het ARK-NZK systeem. Als de verschillende regio's andere aanpakken zouden volgen zou dit combineren niet eenvoudig zijn. Op de regiokeuzes en interacties tussen regio's wordt dieper ingegaan in paragraaf 5.3. Hier is het van belang dat vanwege de verschillende ruimtelijke schalen van watersystemen, provincies, en waterschappen de analyse voor een bepaald watersysteem aan verschillende regio's zou moeten kunnen worden toegeleverd en dat deze dan consistent zou moeten zijn met andere deelsystemen binnen die regio. Dit is meer kansrijk wanneer er een consistente aanpak ontwikkeld wordt met een of enkele basisscenario's.

5.2.2 Onderdelen van de methode

De methode voor het uitvoeren van een bovenregionale stresstest bestaat uit verschillende fases: Eerst wordt een brede scoping uitgevoerd om de precieze aanpak en het proces vast te stellen en de neerslagsscenario's te kiezen die in de stresstest verkend gaan worden. Vervolgens wordt geanalyseerd wat er gebeurt bij een grootschalige neerslaggebeurtenis:

- Op welke locaties water op maaiveld of op straat komt te staan;
- Hoe lang water op straat of maaiveld blijft staan;
- Of waterstanden kritiek worden;
- De gevolgen voor verschillende sectoren en de maatschappij;
- De mogelijke respons van watermanagers en calamiteitenmanagers;
- En wat de verwachte herstelduur is.

Tenslotte worden enkele maatregelen verkend. Alle verkregen informatie vormt input voor de risicodialoog. In deze risicodialoog wordt weer breed gekeken naar de context en relatie met andere trajecten. Figuur 5.1 geeft het proces weer.

Methode bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslaggebeurtenissen

1. Scoping	<ul style="list-style-type: none"> - Welk gebied hebben we het over? - Welke vragen/ontwikkelingen zijn relevant - Welke kennis en modellen zijn beschikbaar? - Welke scenario's worden gebruikt? - Wie doen de stresstest, wie worden betrokken en proces 	
2. Wat gebeurt er bij grootschalige neerslag?	Generen Waterbeeld	- Waterdiepte, duur, afvoer naar HWS en of buitenwater, Waterstanden tov kritiek niveau, stroomsnelheden
	Bepalen Gevolgen	<ul style="list-style-type: none"> - Vitaal en kwetsbaar (bv. wegen, nutsvoorzieningen, ziekenhuizen) - Directe gevolgen (bv. getroffen, en oppervlaktes landbouw, glastuinbouw, stedelijk gebied, recreatie en % van totaal - Schade
	Bepalen respons en herstel	- Volgens bestaande protocollen en draaiboeken
3. Verkenning handelingsperspectieven	<ul style="list-style-type: none"> - Eerste screening van typen (watersysteem) maatregelen t.b.v. ondersteuning risicodialoog 	

Figuur 5.1 Overzicht van de methode voor bovenregionale stresstesten.

1. Scoping

Deze fase dient om de precieze aanpak van de stresstest uit te werken voor de betreffende regio. In deze fase wordt eerst een inventarisatie gedaan van beschikbare gegevens en modellen, en wordt vervolgens het gebied en watersysteem gekarakteriseerd, de scenario's gekozen, de aanpak uitgewerkt en het proces afgestemd. In deze fase worden vragen beantwoord zoals:

- Welke informatie en modellen zijn al aanwezig?:
- Wat zijn de belangrijkste karakteristieken van het watersysteem en van het gebied? Is er een eerdere gebeurtenis met wateroverlast geweest en is deze nuttig om te beschouwen?
- Welke scenario's naast het basisscenario zouden moeten worden bekeken?
- Welke partijen moeten betrokken worden bij de analyse van de gevolgen van grootschalige neerslaggebeurtenissen?

Bij het uitvoeren van de stresstest zijn verschillende organisaties nodig. Wie betrokken worden hangt samen met vraag in hoeveel detail de stresstest wordt uitgevoerd en hoeveel begrip van wat er kan gebeuren nodig is om de juiste besluiten te kunnen nemen of maatregelen te kunnen kiezen. Ook kan dit per regio verschillen. Zo zal het in de stresstestfase betrekken van Rijkswaterstaat of een energiebedrijf of bijvoorbeeld de gemeentes in de ene regio belangrijker zijn dan in een andere.

Het resultaat van de scoping fase is een plan van aanpak voor de betreffende regio voor de uitvoering van de bovenregionale stresstest.

2. Bepalen wat er gebeurt bij een grootschalige neerslaggebeurtenis

In deze fase wordt het waterbeeld gemaakt en worden daarvoor waterdieptes, duur van de wateroverlast, afvoer naar het buitenwater en waterstanden in waterlopen bepaald (zie paragraaf 5.5). Dit waterbeeld wordt gebruikt om de gevolgen te bepalen. Hierbij wordt gekeken naar het aantal getroffen, de met wateroverlast getroffen hectares van verschillende landgebruikstypes, en de monetaire schade. Ook worden de gevolgen voor het functioneren van vitale en kwetsbare infrastructuur in beeld gebracht. Hier wordt nader op ingegaan in paragraaf 5.6. Tenslotte wordt bekeken hoe nu gereageerd zou worden op een grootschalige neerslaggebeurtenis volgens de huidige protocollen en afspraken en naar herstel (zie paragraaf 5.7).

3. Verkenning handelingsperspectieven

In de laatste fase worden eerste indicaties van mogelijkheden en onmogelijkheden van verschillende typen oplossingen en maatregelen gegeven als input voor de risicodialoog (zie paragraaf 5.8).

In de volgende paragrafen worden deze stappen in meer detail besproken.

5.3 Gebiedskeuze en regio-indeling

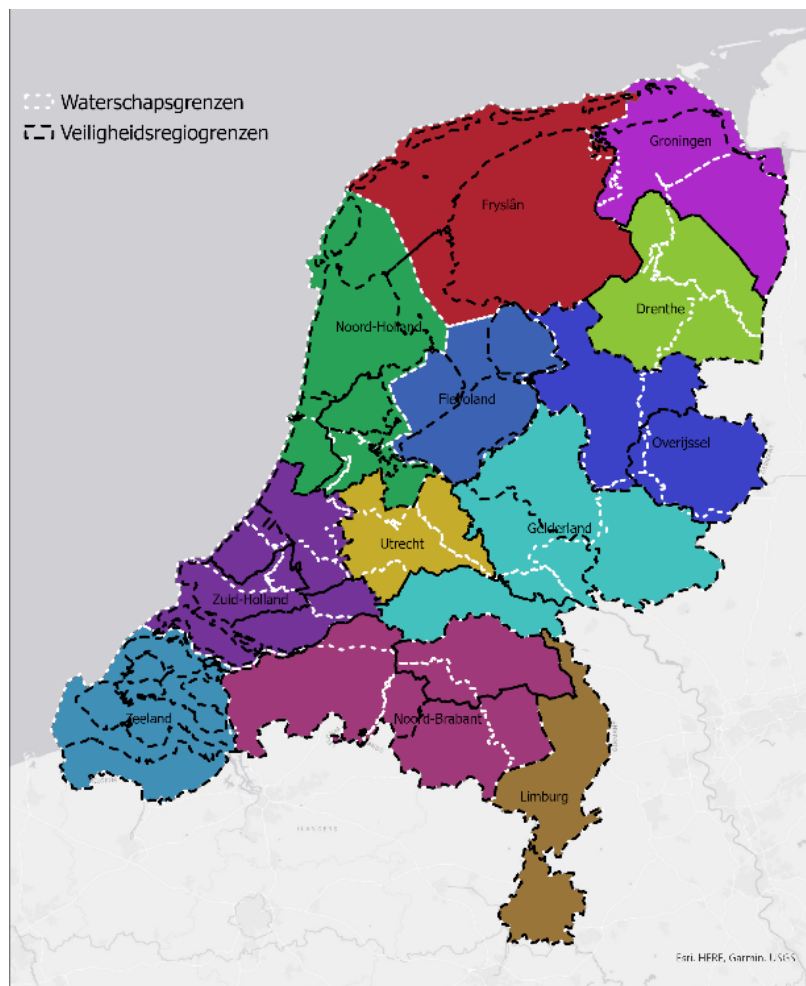
Schaalverschillen weersysteem, watersysteem, gevolgen en respons

De aanbeveling van de beleidstafel luidt dat het schaalniveau waarop de bovenregionale stresstesten worden uitgevoerd zodanig gekozen moet worden dat de volledige impact van een extreme en langdurige neerslagsituatie in zijn volle omvang in beeld gebracht kan worden.

In het eindadvies van de beleidstafel Wateroverlast en Hoogwater is voorgesteld de grootschalige stresstesten te laten coördineren door de provincies (Min I&W *et al.*, 2022). In deze paragraaf wordt eerst kort ingegaan op schalen van analyse, dan op de regio-indeling en tenslotte op wat de keuze kan betekenen voor de te beschouwen interactie tussen regio's.

Schalen van weersystemen, watersystemen, gevolgen, en respons

Grootschalige neerslaggebeurtenissen zoals die van juli 2021 kunnen de ruimtelijke omvang hebben van half Nederland en dus meerdere provincies raken. Het resulterende waterbeeld passend bij zo'n weersysteem (waar komt water op maaiveld en hoe lang/waar worden kritieke waterstanden bereikt) hangt af van de watersysteemkarakteristieken en de watersysteemgrenzen. Deze grenzen vallen niet samen met de bestuurlijke gebiedsgrenzen van de provincie en veiligheidsregio's (Figuur 5.2), maar wel deels met die van de waterschappen. De gevolgen van een grootschalig weersysteem treden op in het getroffen gebied en mogelijk ook daarbuiten: immers er kunnen cascade-effecten optreden. Zo kan een ondergelopen snelweg of een deel van het wegennet ook effecten hebben buiten de provincie. Voor de respons tijdens een gebeurtenis zullen veiligheidsregio's aan de lat staan. De veiligheidsregio's vallen ook niet altijd samen met de provinciegrenzen of waterschapsgrenzen.



Figuur 5.2 Indeling van Nederland in provincies, waterschappen en veiligheidsregio's. De kleuren geven de provinciegrenzen, de witte stippellijnen geven de grenzen van de 21 waterschappen aan en de zwarte lijnen representeren de 23 veiligheidsregio's.

De ruimtelijke schaal en/of analyse schaal van het weersysteem, het watersysteem en afwateringsgebied die nodig is voor het bepalen van het waterbeeld, de gevolgen, en de respons zijn dus verschillend en soms provinciegrens-overschrijdend. Om te zorgen voor een werkbare analyse ligt het voor de hand om een analyse per watersysteem uit te voeren en deze te combineren tot beelden per groter watersysteem of stroomgebied en beelden per provincie (zie Figuur 5.3). Daarbij zal rekening gehouden moeten worden met interacties.

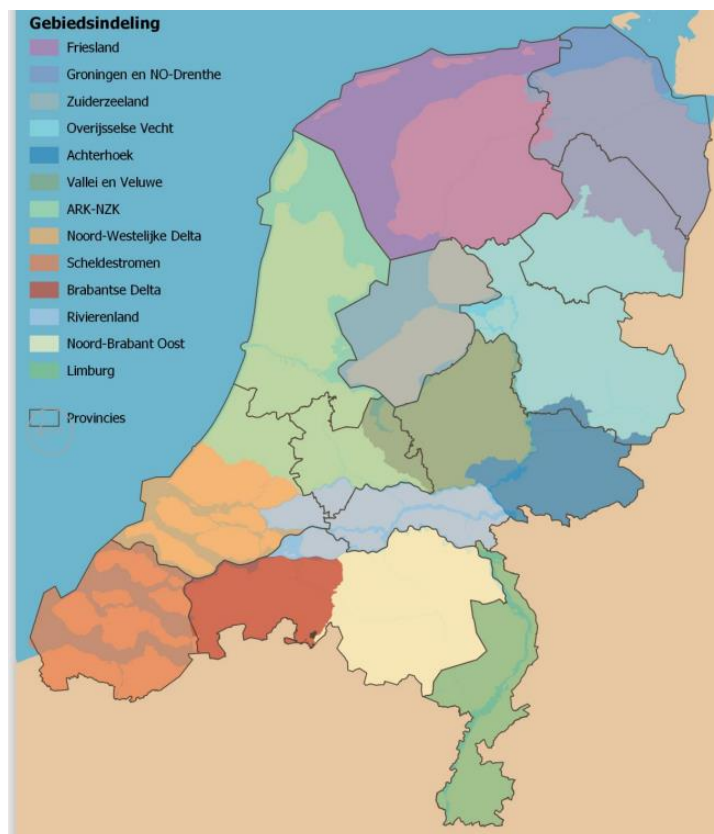
Bij twijfel over het al dan niet meenemen van gebieden in een bovenregionale stresstest kan in het algemeen beter een groter gebied, dan een kleiner gebied beschouwd worden. Dit betekent dat het effectiever kan zijn om een geheel waterschap, gehele veiligheidsregio of zelfs een samenvoeging te beschouwen, ook wanneer deze deels buiten de provinciegrenzen ligt. Het ARK-NZK systeem is hier een voorbeeld van die zowel provincie, waterschap, veiligheidsregio als watersysteem overschrijdend is. De precieze uitwerking kan per gebied verschillen.

De provincies kunnen hier een coördinerende rol bij hebben en de samenwerking tussen waterschappen, veiligheidsregio's, gemeentes en Rijkswaterstaat coördineren. Een mogelijke werkwijze en rolverdeling hierbij is:

- Provincies coördineren, zo nodig gezamenlijk, de stresstesten per regio.
- Bij het analyseren van effecten van grootschalige neerslaggebeurtenissen en het creëren van waterbeelden worden de waterschap/watersysteemgrenzen aangehouden en wordt interactie tussen watersystemen waar noodzakelijk meegenomen. De indelingen van de waterschappen is gebaseerd op de watersystemen en afwateringsgebieden en daardoor beter toepasbaar dan de provincie indeling. Binnen de waterschappen liggen één of meerdere watersystemen/afwateringsgebieden (Figuur 5.2). De grensoverschrijdende stroomgebieden kunnen hier ook goed beschouwd worden.
- Voor het analyseren van gevolgen en response wordt per regio gewerkt. Op basis van een groter gecombineerd waterbeeld op bovenregionale schaal kunnen de gevolgen bepaald worden en kunnen responsmogelijkheden bekeken worden.
- Voor de risicodialogen kan de provincie ofwel kiezen voor een risicodialoog per regio, of wel per provincie. Het houden van een risicodialoog per regio lijkt meer voor de hand liggend, zeker wanneer ook maatregelen als waterberging of vasthouden van water worden overwogen of wanneer de totale omvang van een gebeurtenis en alle gevolgen een rol speelt in de keuze voor de acceptatie van de gevolgen.

Gebiedsindeling

In de voorgestelde indeling van regio's voor bovenregionale stresstesten (Figuur 5.3) is uitgegaan van de stroomgebiedsbenadering, waarop ook de indeling van de waterschappen is gebaseerd. Een bovenregionale stresstestregio beslaat hier uit de beheersgebieden van één of meerdere waterschappen.



Figuur 5.3 De regio-indeling voor bovenregionale stresstesten (bron: De Vries et al., in prep.).

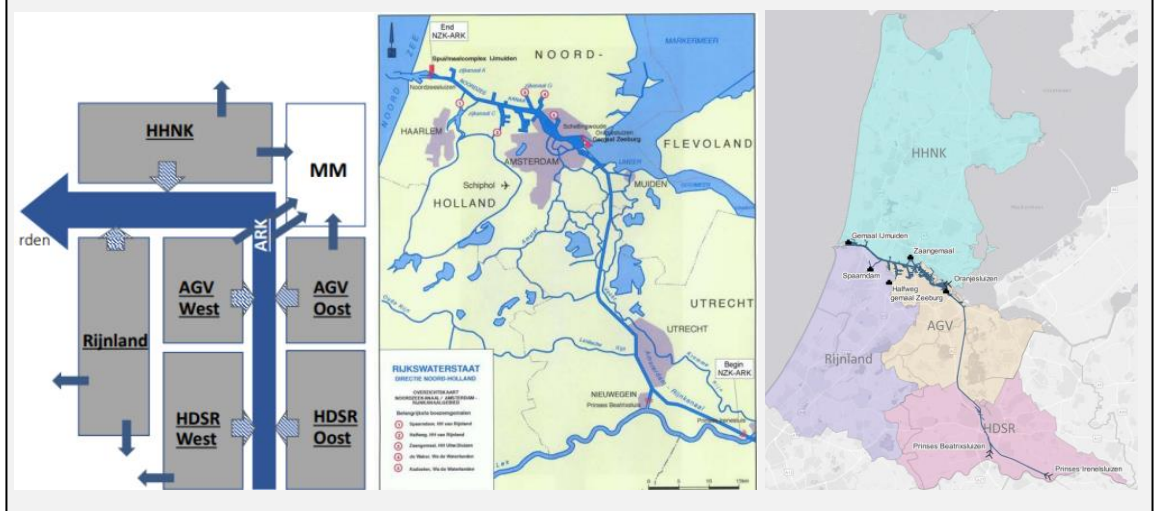
Binnen een regio kunnen watersystemen in delen worden geanalyseerd mits de interactie tussen de delen meegenomen wordt als deze relevant is (zie paragraaf 5.5). Zo zullen de waterschappen binnen het gebied Amsterdam-Rijnkanaal/ Noordzeekanaal de analyse voor hun beheersgebied doen en zal er ook een model voor het Amsterdam-Rijnkanaal/Noordzeekanaal met de aansluiting op de boezems gebruikt worden om de interactie mee te nemen. De werkwijze hiervoor wordt geschetst in paragraaf 5.5.

Er is ook interactie tussen regio's. Zo voert een aantal regio's af op hetzelfde hoofdwater. Denk hierbij aan Groningen & Noord-Oost Drenthe en Friesland die beiden voor een deel afwateren op het Lauwersmeer. Ook zijn er meerdere regio's die afwateren op de Hollandse IJssel, het Volkerrak-Zoommeer en het Markermeer en IJsselmeer. Door uit te gaan van een gemiddeld peil en een gevoeligheidsanalyse te doen voor een verhoogd peil kan ook een indicatie van het effect van interactie op de regio gegeven worden (zie paragraaf 5.5).

Om te komen tot een goed beeld gegeven de verschillende ruimtelijke schalen van weerssystemen, watersystemen, responssystemen, gevolgen en overheden is het cruciaal om een zoveel mogelijk uniforme werkwijze toe te passen, zodat resultaten van verschillende deelsystemen op verschillende wijzen gecombineerd en vergeleken kunnen worden. Dit wordt toegelicht met een voorbeeld in tekstbox 2 voor het ARK-NZK systeem.

Tekstbox 2 Provincie overschrijdende samenwerking in het ARK-NZK systeem.

Het Amsterdam-Rijnkanaal-Noordzeekanaal voert water af van de 4 waterschappen Hollands Noorderkwartier, Rijnland, Amstel-Gooi en Vecht en Stichtse Rijnlanden. Deze waterschappen wateren voor een deel van een gebied ook af naar andere uitlaatpunten zoals Katwijk (Rijnland), Den Helder (Hollands Noorderkwartier) en naar de Hollandse IJssel (Stichtse Rijnlanden). De analyse van de effecten van een grootschalig neerslaggebeurtenis op het afwateringsgebied van het ARK-NZK systeem vraagt samenwerking van drie provincies, namelijk: Zuid-Holland, Noord-Holland en Utrecht. Deze provincies zullen hiervoor onder andere de waterschappen raadplegen. De waterschappen zullen de effecten van de neerslag voor hun beheersgebied kunnen analyseren. De provincies zullen naast het afwateringsgebied van het ARK-NZK ook andere delen van hun provincie willen bekijken en die in 1 beeld voor hun provincie weergeven. Om te voorkomen dat een waterschap meerdere analyses moet doen, of beelden niet goed gecombineerd kunnen worden is een zekere mate van uniformiteit van deze provincies en waterschappen dus cruciaal.



5.4 Scenariokeuze: Welke gebeurtenissen en omstandigheden nemen we mee?

Om een uniform landelijk beeld te krijgen is het belangrijk om voor alle regio's minimaal één of enkele vergelijkbare scenario's te analyseren. Vanuit de beleidstafel is voorgesteld om de extreme neerslag in Limburg, Ardennen en Eiffel in juli 2021 als startpunt voor de keuze van een scenario te nemen. Tijdens deze gebeurtenis viel er over een gebied van ca. 900 km² gemiddeld meer dan 150 mm neerslag en over een gebied van ca 200 km² zelfs meer dan 200 mm neerslag in 48 uur tijd. Gedurende die dagen kwamen droge uren voor en ook perioden met intensieve neerslag. Het zwaartepunt van de bui lag zo'n 25 km ten zuiden van de Nederlandse grens.

Om tot een keuze van enkele scenario's te komen, is gekeken naar onder andere de DPRA stresstesten (DPRA, 2020), eerdere analyses in provincie Zuid-Holland (De Bruijn *et al.*, 2022), adviezen vanuit NKWK (Kolen *et al.*, 2022) en aanbevelingen vanuit het eindrapport van de Beleidstafel Wateroverlast en Hoogwater.

Een scenario bestaat uit een consistente set van aannames. Figuur 5.4 geeft de scenario-elementen waarvoor aannames zijn gedaan, de keuze voor het basisscenario en de motivatie daarvan. De keuzes en motivatie zijn verder toegelicht in de subparagrafen 5.4.1 tot en met 5.4.6.

Aannames voor het basisscenario bovenregionale stresstesten			
Scenario elementen		Basisscenario	Motivatie
Neerslag	<i>Duur</i>	48 uur	Lijkt op 2021, veel langer dan een typisch intensieve bui, 48 uur past bij bestaande statistiek KNMI en DPRA
	<i>Hoeveelheid</i>	200 mm	Stresstest: extreem, maar realistisch event. Past in de range van de DPRA stresstesten, de verwachte KNMI scenario's en bij de Limburgbui.
	<i>Ruimtelijke verdeling</i>	Homogeen	Dit maakt het mogelijk een landelijk beeld te maken en voorkomt discussies passend bij een alternatieve aanpak
	<i>Verdeling door de tijd</i>	Realistisch	Realistische verdeling over 48 uur met een flinke hoeveelheid op beide dagen, en geen zeer extreme pieken
Initiële condities	<i>Bodem- en watersysteem</i>	Nat	Dit kan zijn GHG of zomer streefpeil
Randvoorwaarden	<i>Buitenwater</i>	Gemiddelde afvoer, gemiddeld getij, geen stormopzet	Het gaat om het effect van de neerslag. Dit wordt beter inzichtelijk wanneer er niet ook een andere bedreiging tegelijkertijd wordt beschouwd
Functioneren watersysteem	<i>Werking van keringen, gemalen, pompen etc.</i>	Zoals bedoeld	Gaat over het functioneren van een normaal werkend systeem. Afwijkingen kunnen worden opgenomen in gevoeligheidsanalyse
Respons	<i>Actie van waterbeheerders en veiligheidsregio's</i>	Volgens bestaand protocol	Dit is de meest uniform mogelijke keuze en geeft bovendien een beeld van of de regio gesteld staat tot het adequaat reageren op basis van de bestaande protocollen

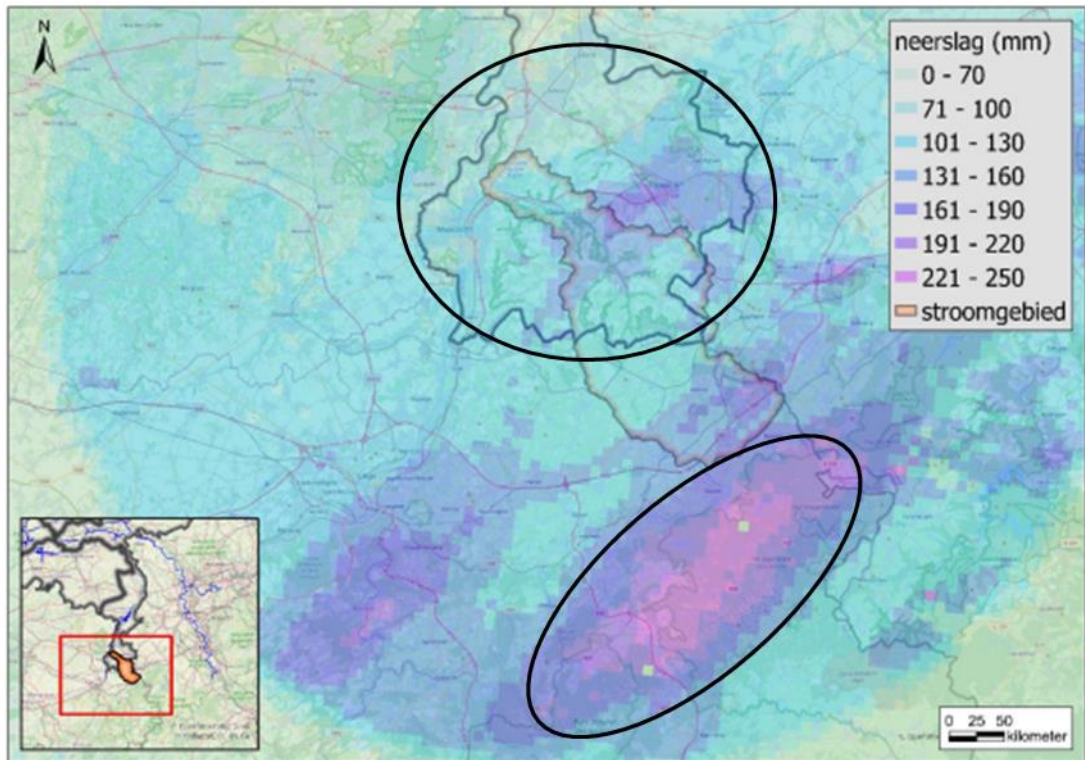
Figuur 5.4 Set van aannames om te komen tot het basisscenario voor bovenregionale stresstesten.

5.4.1 Neerslag- en andere weercondities

Een van de belangrijkste parameters van de door te rekenen scenario's is de neerslag: welke omvang heeft het neerslaggebied, welke duur en totaalom, en hoe is deze verdeeld over de ruimte en in de tijd.

Neerslaghoeveelheid

Tijdens de neerslaggebeurtenis van de zomer 2021 in Limburg, de Ardennen en Eifel viel ongeveer 100 a 250 mm in 2 à 2.5 dag. De neerslagsom varieerde tussen de locaties en was het hoogst in het zwaartepunt van het weersysteem. In een groot gebied viel meer dan 100 en zelfs meer dan 150 mm (zie Figuur 5.5).



Figuur 5.5 Ruimtelijke verdeling van de neerslag (neerslagsom van 13 juli 10:00 tot 15 juli 10:00). De zwarte cirkels geven de gebieden weer waarover de gemiddelde neerslagverdeling is bepaald, weergegeven in Figuur 5.6. Bewerking van Figuur 6 in Asselman en van Heeringen (2022).

Voor de bovenregionale stresstest wordt voorgesteld om een neerslagsom te kiezen die past bij een groot gebied en vergelijkbaar is met de gebeurtenis van 2021. Er is gekozen voor een neerslaghoeveelheid die zo extreem is dat het watersysteem er niet op gedimensioneerd is zodat er wateroverlast ontstaat, een bovennormatieve situatie, maar niet zo extreem dat de som onrealistisch wordt voor toepassing op bovenregionale schaal.

Om tot een realistische hoeveelheid te komen, is een indicatie van de kans belangrijk. De kans op een bepaalde neerslagsom is afhankelijk van de grootte van het gebied waarop deze betrekking heeft: de kans op een neerslagsom van bijvoorbeeld 100 mm op een schaal van een klein watersysteem (een eiland, of een zijrivier) is veel groter dan de kans op een neerslagsom van gemiddeld 100 mm op een schaal van bijvoorbeeld het stroomgebied van de Maas. In bovenregionale stresstesten wordt gezocht naar een hoeveelheid die past bij de schaal van een regionaal watersysteem zoals het Amsterdam-Rijnkanaal, het stroomgebied van de Overijsselse Vecht, of de beken en het polderboezemsysteem van de Brabantse Delta. De oppervlakte hiervan is vaak in de orde van 30 bij 30 tot ongeveer 50 bij 50 km. Aangezien de oppervlaktes van de regionale systemen verschillen, de kansen op neerslag een onzekerheidsband kennen, en de kansen op extreme neerslag volgens de nieuwe klimaatscenario's van het KNMI (2023) toenemen, wordt voorgesteld om in plaats van een heel precieze neerslaghoeveelheid, een afgeronde neerslagsom te kiezen en daarbij een bandbreedte van de kans te geven. Mocht in de toekomst meer inzicht ontstaan over de kans

die daarbij hoort, dan kan die bandbreedte nauwkeuriger worden gegeven. Het alternatief, het zo goed mogelijk bepalen van de neerslag horend bij een bepaalde overschrijdingskans bijvoorbeeld de eens in de 300 jaar neerslag, is niet aan te raden: immers deze is afhankelijk van de oppervlakte van het gebied waar deze op wordt toegepast en deze neerslagsom zal veranderen als gevolg van de nieuwe klimaatscenario's. Bovendien kan dan geen bandbreedte worden gegeven (er moet immers gerekend worden met een bepaalde neerslaghoeveelheid). Het gebruik van een zeer precieze neerslaghoeveelheid en kans daarop doet geen recht aan de onzekerheid die er is.

Er is gezocht naar een neerslagsom die past bij de gebeurtenis van 2021, en aansluit bij de bijsluiter van de DPRA stresstesten (DPRA, 2020) en er is gekeken naar reeds uitgevoerde bovenregionale stresstesten. Op grond hiervan wordt voorgesteld om voor alle regio's te werken met een neerslaghoeveelheid van 200 mm in 48 uur en een extra analyse te doen voor 150 mm per 48 uur. Deze neerslagsommen passen bij de gebeurtenis van juli 2021. Volgens de KNMI 2014 scenario's hebben deze neerslagsommen een herhalingstijd van respectievelijk 500 en meer dan 1000 jaar in het huidige klimaat. Voor het klimaat van 2050 zijn de herhalingstijden volgens de KNMI2014 scenario's respectievelijk 250 en 1000 jaar (DPRA, 2020). Hoe groter de regio is waarop deze bui wordt gezet, hoe kleiner de bijbehorende kans is. Echter, bij deze langdurige neerslagsommen is de kansreductie bij grotere gebieden beperkt (DPRA, 2020). Er wordt gesteld dat deze kansen gelden lokale neerslag en dat de kans voor gebieden van 10 km² en 100 km² respectievelijk een factor 0,98 en 0,96 is. De kansreductie voor gebieden zo groot als regionale watersystemen, of zo groot als provincies, is niet precies bekend. De twee neerslagsommen geven samen ook een indicatie van de gevoeligheid van het water- en bodemsysteem voor extreme neerslag: in Zuid-Holland bijvoorbeeld was de wateroverlast bij 150 mm beperkt, terwijl bij 200 mm de wateroverlast heel groot was. Dit geeft meer inzicht in wat het gebied aan kan.

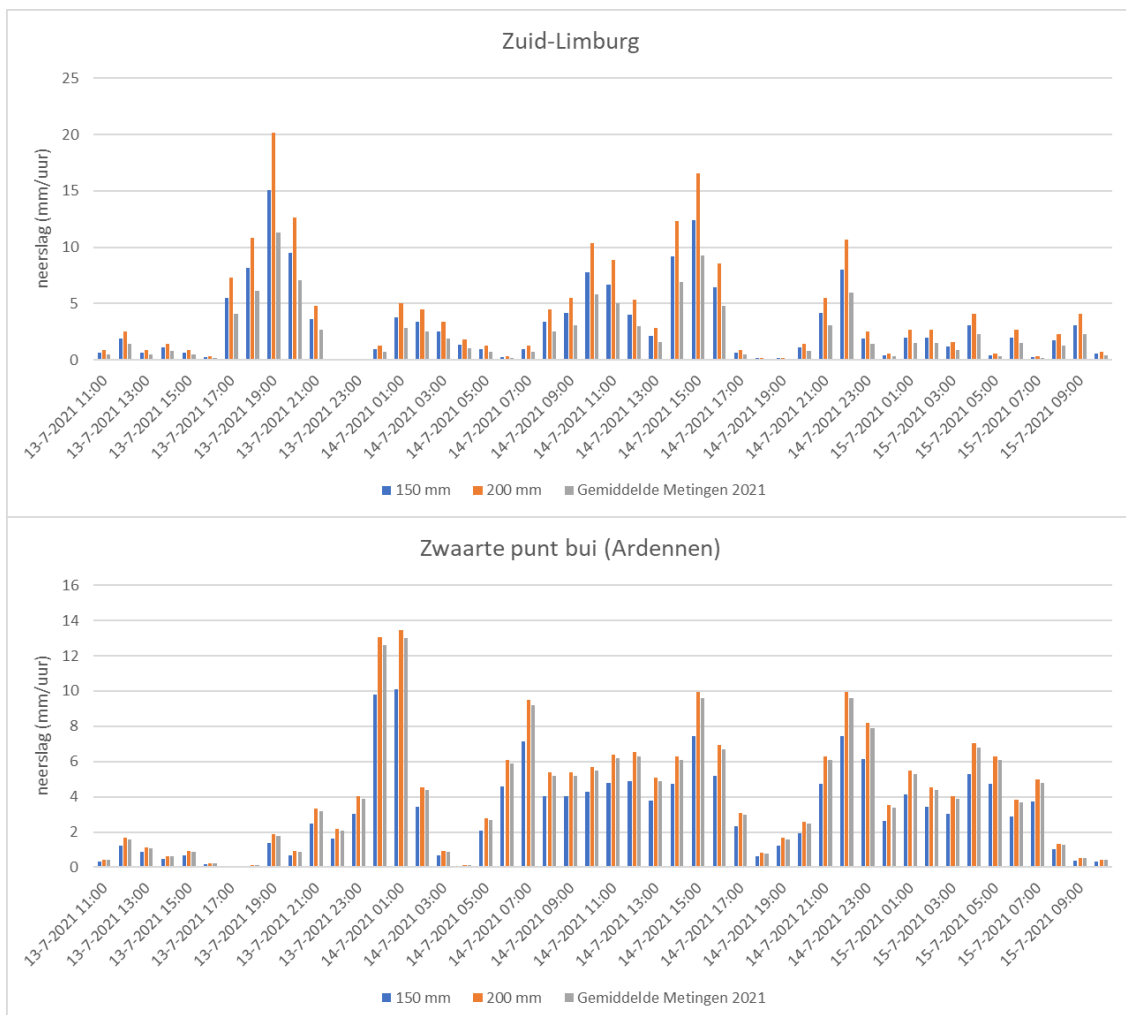
Verdeling over de ruimte

Er wordt voorgesteld om een ruimtelijk uniforme neerslag op te leggen over de gehele stresstestregio. Dit maakt het mogelijk om verschillende analyses voor verschillende regio's of deelsystemen samen te nemen of te vergelijken. Het alternatief: het gebruiken van verschoven weersysteem, bijvoorbeeld het weersysteem van juli 2021 is weliswaar aansprekender, maar roept direct discussies op zoals waar het centrum van de bui precies moet komen te liggen en vervolgens wat het effect zou zijn als dit centrum net wat anders zou hebben gelegen. Ook maakt het combinaties en vergelijkingen van verschillende resultaten lastig.

Verdeling over de tijd

Er wordt voorgesteld om voor het basisscenario de neerslagverdeling binnen de 48 uur zo realistisch mogelijk te houden. De verdeling kan afgeleid worden van de meetresultaten van de meetstations in Limburg, België en Duitsland in juli 2021. In het weersysteem van 2021 waren er grote verschillen in de neerslagspreiding over de tijd tussen verschillende locaties.

Om te komen tot een verdeling over de tijd die toepasbaar is voor bovenregionale stresstesten is de neerslagspreiding geanalyseerd. Hiertoe is een regio geselecteerd van representatieve grootte voor een regionaal watersysteem en zijn daarvan neerslagkarakteristieken bepaald. Door het gemiddelde van het gebied te pakken worden de lokale extreme pieken gedempt. Deze lokale pieken kunnen immers niet zomaar op een grote regio toegepast worden. Er zijn hier resultaten getoond voor twee voorbeeldgebieden: Zuid-Limburg en het gebied rond het zwaartepunt van de bui boven de oostelijke Ardennen (beide ca. 600 km²). De gecorrigeerde radarneerslag van deze gebieden is genomen en geschaald naar de voorgestelde neerslaghoeveelheden van 150 en 200 mm per 48 uur, zie Figuur 5.6.



Figuur 5.6 Geschaalde neerslag per uur voor een totale neerslagsom van 150 mm (blauw) en 200 mm (oranje) voor twee gebieden onderhevig aan de “Limburgbui”. De neerslagsommen zijn geschaald t.o.v. de gemiddelde gecorrigeerde neerslag meetresultaten.

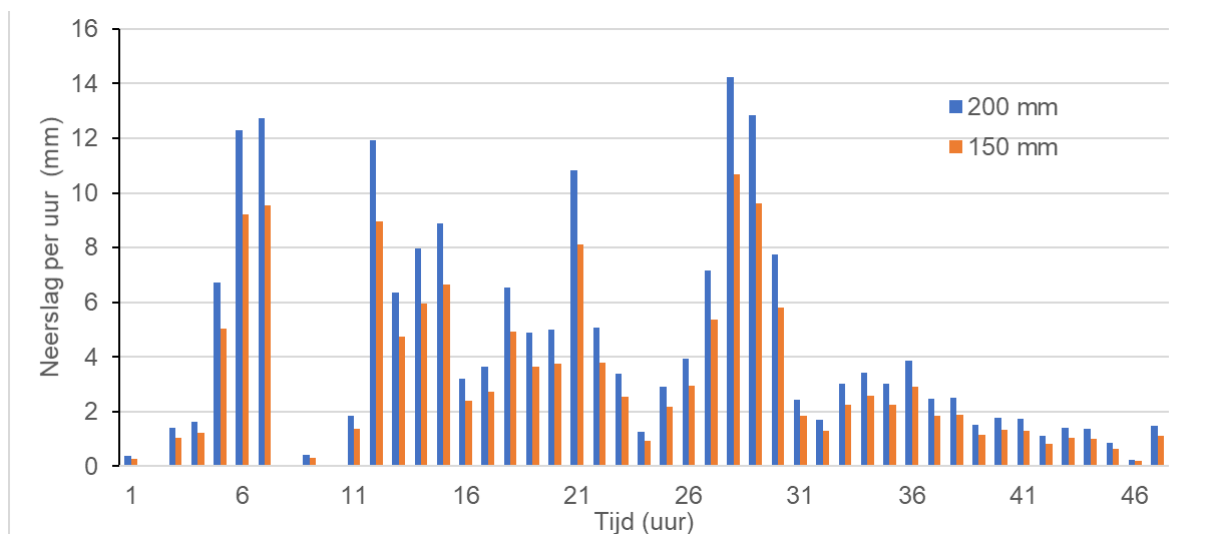
Tabel 5.1 Neerslagspreidingsinformatie van gebiedsgemiddelde neerslag van de regio Zuid-Limburg en de regio rond het zwaartepunt van het weersysteem (oostelijke Ardennen).

Zuid-Limburg	Geschaald naar 150 mm	Geschaald naar 200 mm	Metingen (112 mm)
Eerste 24 uur	76	102	57
Tweede 24 uur	74	98	55
Maximale intensiteit (mm/uur)	15	20	11

Zwaartepunt (Ardennen)	Geschaald naar 150 mm	Geschaald naar 200 mm	Metingen (194 mm)
Eerste 24 uur	63	84	82
Tweede 24 uur	87	116	112
Maximale intensiteit (mm/uur)	10	13	13

Voor het gebied in Zuid-Limburg zijn de neerslagsommen van de eerste en tweede 24 uur vergelijkbaar. Intensieve neerslag wordt afgewisseld met enkele uren van lichte neerslag. In de Ardennen is er in de tweede 24 uur beduidend meer neerslag gevallen dan in de eerste. Het verschil met de gemiddelde neerslag in Zuid-Limburg is met name dat de neerslag gelijkmatiger over de tijd is gevallen. Hiermee is ook de gebiedsgemiddelde piekintensiteit lager.

De precieze spreiding in de tijd varieert dus van locatie tot locatie en ook van gebied tot gebied. Voor de wateroverlast is het vooral belangrijk dat de gekozen verdeling realistisch is en past bij langdurige en grootschalige neerslag (afwisseling intensieve en lichte neerslag en geen extreme pieken) en deze uniform wordt gebruikt door alle boven regionale stresstestregio's. Omdat bij de eerder uitgevoerde stresstesten gebruik is gemaakt van de temporele verdeling zoals waargenomen in Limburg, wordt voorgesteld om verder te gaan met deze verdeling (zie De Bruijn *et al.*, 2022; Slager *et al.*, 2022; Kolen *et al.*, 2022).



Figuur 5.7 Verdeling van de neerslag over de 48 uur voor een scenario met een totaal van 150 en 200 mm in 48 uur.

Een stresstest zal niet alleen naar de 48 uur van het neerslagevent moeten kijken maar ook een aanname moeten doen over de neerslag en het weer in de periode erna (Kolen *et al.*, 2022). Om de stresstesten te uniformeren kan gekozen worden om voor de dagen na de 48 uur neerslag aan te nemen dat er geen neerslag meer valt. Deze aanname komt overeen met de reeds uitgevoerde stresstesten in de meeste gebieden (zie hoofdstuk 4).

Naast neerslag, zijn er ook aannames nodig over andere weerparameters zoals temperatuur en wind. Hiervoor wordt aanbevolen de gemiddelde zomerwaardes te gebruiken voor de maand juli. De keuze voor de neerslaggebeurtenis is dominant voor het scenario.

Voorstel: Voor bovenregionale stresstesten stellen we voor om minimaal 1 basisscenario (200 mm in 48 uur, temporele verdeling gebaseerd op de neerslag die in juli 2021 in Limburg viel) door te rekenen voor alle gebieden en bij voorkeur ook te kijken naar 150 mm neerslag. Daarnaast kunnen de regio's aanvullende scenario's analyseren passend bij de regiospecifieke vragen.

Het voorstel en de toelichting is samengevat in Figuur 5.4. In Tabel 5.2 worden voorbeelden van mogelijke gevoeligheidsanalyses gegeven.

5.4.2 Initiële condities

Het effect van de bui hangt af van de initiële situatie van het bodem- en watersysteem. Wanneer er meer water in de bodem, sloten en andere watergangen kan worden geborgen zal er minder wateroverlast ontstaan. Andersom, wanneer de bodem al verzadigd is, zal bij eenzelfde bui alle neerslag afstromen waardoor de peilstijging in de watergangen groter zal zijn. We raden aan om in de berekeningen zoveel mogelijk aan te sluiten op de systematiek van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) en uit te gaan van een GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand) overeenkomend met een droge uitgangssituatie en de GHG (de gemiddeld hoogste grondwaterstand), overeenkomend met een natte uitgangssituatie. Wanneer het niet mogelijk is om de GHG en GLG te vertalen in modelinvoer kan een inlooperperiode gekozen worden om de initiële situatie in het model te creëren met daarin voor de droge initiële situatie geen neerslag in de 2 weken voor het event en voor de natte uitgangssituatie uit te gaan van juist veel neerslag in de 2 weken voorafgaand aan de neerslaggebeurtenis zodat er verzadiging optreedt (maar er nog geen water op maaiveld staat). In poldergebieden kan uitgegaan worden van streefpeil in de zomer en hoge polderpeilen

Bij het bepalen van de initiële waterstanden in sloten en boezemwateren kan uitgegaan worden van zomerstreefpeil of bij peilen passend bij een natte zomerperiode. Zo kunnen er bij de startsituatie realistische waterstanden in de modellen worden opgegeven.

Voor de stresstest raden we aan om uit te gaan van het natte scenario. Om meer zicht op de gevoeligheid te krijgen, raden wij aan om ook een berekening te doen voor een droge uitgangssituatie en deze eventueel te koppelen aan de 150 mm neerslaggebeurtenis. Zo wordt een bandbreedte gecreëerd van het waterbeeld. Dit is een andere benadering dan wordt toegepast in DPRA waar voor lange neerslaggebeurtenissen met herhalingsijd groter dan 100 jaar standaard wordt uitgegaan van de gemiddelde grondwaterstand.

5.4.3 Randvoorwaarden buitenwater

Om het effect van de neerslaggebeurtenis te bepalen wordt voorgesteld om uit te gaan van een situatie zonder storm, met gemiddeld getij en zonder hoge Rijnafvoer. Immers, een combinatie van storm en een stagnerend neerslaggebied is niet voor de hand liggend. Daarnaast is een situatie met een verhoogde rivierafvoer (waarbij de rivier water krijgt uit een ander of veel groter gebied, zoals bij de Rijn) weliswaar mogelijk, maar heeft wel een kleinere kans van voorkomen. Bovendien is het doel het in beeld brengen van het effect van de grootschalige neerslag en niet van een combinatie van gebeurtenissen. Bij de Maas is de afvoer meer afhankelijk van de regionale neerslag dan bij de Rijn. De Maas is dan onderdeel van de stresstest en de randvoorwaarde zou idealiter verder bovenstrooms gelegd moeten worden. Kan dat niet, dan is het voor de hand liggend om met een verhoogde Maasafvoer te rekenen, zeker bij een stresstest waarbij het grootschalige neerslagsysteem grotendeels boven de Ardennen of het bovenstroomse Maasstroomgebied ligt.

Als gevoeligheidsanalyse voor de stresstest is het aan te bevelen om daarnaast een analyse te doen met een hoge buitenwaterstand: een eens per 10 of eens per 100 jaar rivierafvoer op Rijntakken en Maas en een opzet op zee of op de meren. Ook kan een beeld gegeven worden van polder-boezemsystemen waar een maalbeperving op wordt gezet. Deze gevoeligheidsanalyse kan ook helpen de interacties met andere regio's in beeld te brengen: immers het laat de gevolgen bij een verhoogde buitenwaterstand en/of een afvoerbeperving zien.

5.4.4 Functioneren watersysteem

Voor de basisscenario's raden wij aan om er vanuit te gaan dat het watersysteem functioneert als bedoeld. Deze aannahme is namelijk duidelijk en uniform en geeft een goede referentie. Hierbij wordt uitgegaan dat pompen en gemalen goed zijn onderhouden en volgens de voorgeschreven capaciteit werken, dat duikers en andere kunstwerken functioneren volgens ontwerp, dat boezemkades goed zijn onderhouden en overloopgebieden worden ingezet conform de normale procedure of afspraken. Noodmaatregelen worden in dit basisscenario niet meegenomen (dus geen mobiele pompen, en/of zandzakken etc.). Per regio zal moeten worden gespecificeerd hoe dit uitgangspunt precies ingevuld wordt. Voor ARK-NZK is dit in tekstbox 3 verder uitgewerkt.

Tekstbox 3. Voorbeeld ARK-NZK

Voorbeeld ARK-NZK

In de regio ARK-NZK zal overlast optreden in de polders en zullen waterstanden in de boezems en het ARK-NZK hoog oplopen wanneer deze het water uit een groot gebied moeten afvoeren. Voor de regio ARK-NZK is 'werking zoals bedoeld' concreet vertaald in:

- Voormalen in die waterschappen waar dat standaard is;
- Als het peil op het ARK-NZK stijgt tot -20 cm +NAP worden de IJ-, Amstel- en ARK-fronten gesloten zodat de hoge waterstanden op het ARK niet leiden tot instroom in de riolering van Amsterdam, en tot te hoge waterstanden op de Amstelboezem. Amsterdam en de Amstelboezem worden dan uitgemalen via gemaal Zeeburg.
- Als het peil op het ARK-NZK stijgt tot 0m +NAP wordt een volledige maalstop afgekondigd
- In de analyse wordt gekeken of en hoe rekening gehouden kan worden met te hoog oplopende boezempeilen en maalstops van de polders.
- Er wordt aangenomen dat de nieuwe pomp 7 die dit najaar (2023) is bijgeplaatst er toe leidt dat er ook in de zomer 6 pompen beschikbaar zullen zijn. De 7^e pomp kan de pomp die in de zomer in onderhoud gaat vervangen.
- Er wordt aangenomen dat alle gemalen, stuwen, en pompen werken op hun normale capaciteit en dat keringen niet breken bij waterstanden die zij zouden moeten kunnen keren.

5.4.5 Respons

Om een beeld te krijgen van de mogelijke maatregelen en response wordt voorgesteld om een storyline-oefening door te redeneren *gebaseerd op bestaande redeneerlijnen* en protocollen en kennis in hoofden van de calamiteiten en crisismanagers. Op die manier komen informatiebehoefes, vragen, en mogelijke maatregelen in beeld en kan op de risicodialoog hier verder naar gekeken worden (zie paragraaf 5.7). Hierbij kan samenwerkt worden met bestaande netwerken zoals bijvoorbeeld SCOR⁴ in centraal Holland en Noordwest 4: het samenwerkingsverband tussen de veiligheidsregio's in het gebied in Noord-Holland ten noorden van het Noordzeekanaal (De Bruijn & Juch, 2024).

⁴ Samenwerking Crisisbeheersing Overstroming Randstad (SCOR) waarin de provincies Zuid-Holland, Noord-Holland, Utrecht, de veiligheidsregio's Amsterdam-Amstelland, Gooi en Vechtstreek, Haaglanden, Holland Midden, Kennemerland, Rotterdam-Rijnmond en Utrecht en de hoogheemraadschappen van Delfland, de Stichtse Rijnlanden, Rijnland en Schieland en de Krimpenerwaard en het Waterschap Amstel, Gooi en Vecht en Rijkswaterstaat Vest-Nederland Zuid, West-Nederland Noord en Midden Nederland samenwerken om het aantal slachtoffers en de schade ten gevolge van overstromingen te beperken ([8. II Convenant SCOR 20211130.pdf](#) (vrh.nl))

5.4.6 Gevoeligheidsanalyses

Naast het basisscenario is het aan te raden ook gevoeligheidsanalyses te doen die relevant zijn voor de betreffende regio. Suggesties hiervoor worden gedaan in tabel 5.2. Hierbij kan de gevoeligheid voor aannames getest worden en kunnen andere factoren die bepalend zijn voor wateroverlast beschouwd worden zoals het optreden van storm of uitval van een cruciaal object, doorbraken op cruciale punten, maalbeperkingen of minder optimaal functionerende kunstwerken. Hiervoor kunnen standaard redenerlijnen als ondersteuning worden ontwikkeld.

Tabel 5.2 Voorbeelden van relevante gevoeligheidsanalyses.

Keuze	Neerslagsom (48 uur)	Initiële condities	Randvoorwaarde buitenwater	Functioneren watersysteem	Respons
Basis	200 mm	Nat	Gemiddeld/normaal	Zoals bedoeld	Volgens bestaande protocollen
Minder neerslag en initieel droog	150	Droog	Gemiddeld/normaal	idem	idem
Met hoog buitenwater	200	Nat	1/10 per jaar stormopzet of rivierafvoer /meerpeil en/of met maalbeperking	idem	idem
Vb met uitval van een cruciaal object	200	Nat	Gemiddeld/normaal	Uitval cruciaal gemaal / doorbraak op kwetsbare of cruciale plek	idem
Vb met andere respons	200	Nat	Gemiddeld/normaal	Zoals bedoeld	Met aangepast waterbeheer en/of met aangepaste acties van elektriciteitsbedrijven en/of andere responsorganisaties

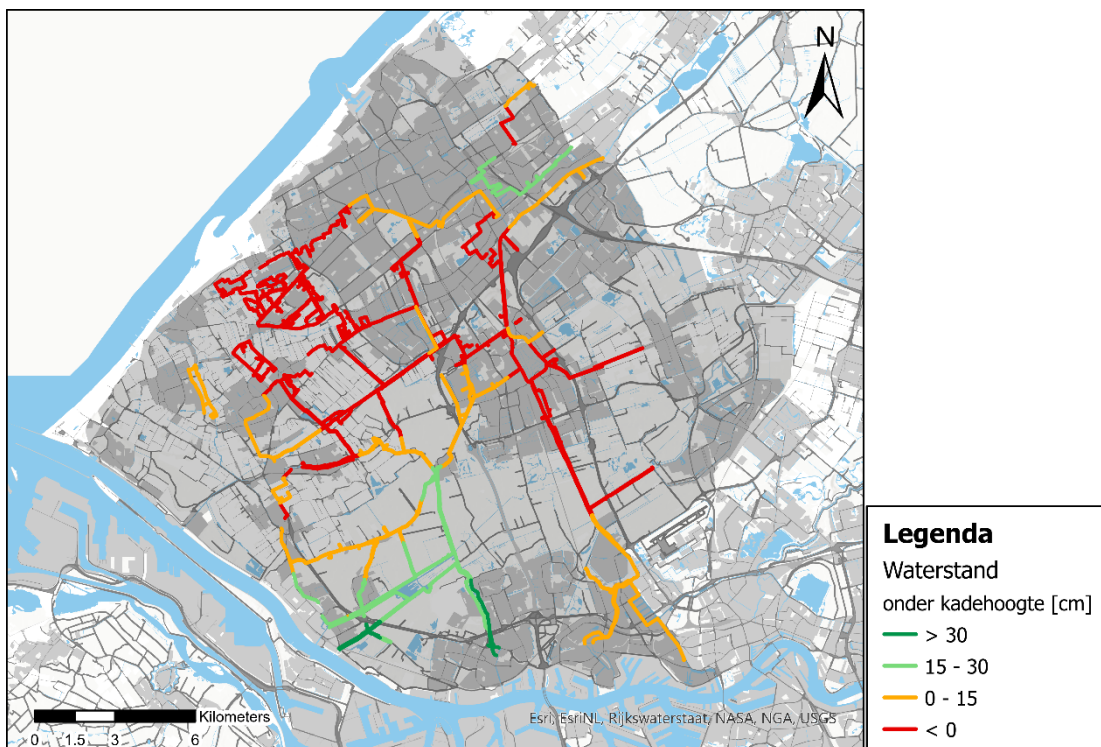
5.5 Bepalen van het waterbeeld

5.5.1 Benodigde informatie voor het waterbeeld

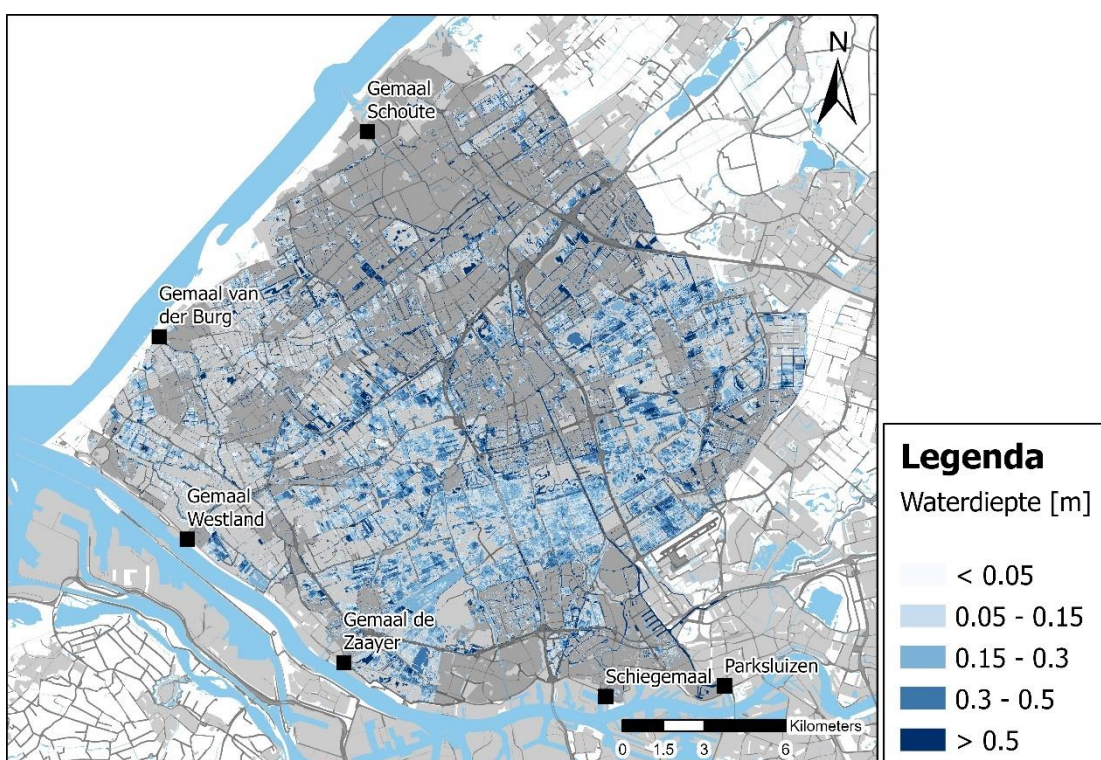
De wateroverlast die ontstaat ten gevolge van een grootschalig neerslaggebeurtenis wordt in beeld gebracht door de neerslag te modelleren met hydrologische en hydraulische modellen en/of GIS analyses. Om een goede indruk te geven van de wateroverlast is nodig:

- Een waterdieptekaart van de gebieden waar water blijft staan of die overstromen en een beeld van stroomsnelheden (waar relevant);
- Een indicatie van de duur van water op maaiveld of op straat (bijvoorbeeld in dagen);
- De waterstanden in waterlopen met een indicatie of deze kritisch zijn: bijvoorbeeld door deze te relateren aan ontwerpwaterstanden, maatgevende waterstanden of kadehoogtes;
- De afvoeren van beken, boezemgemaal en de afvoer naar buitenwater of andere systemen.

Figuur 5.8 en 5.9 geven voorbeelden van resultaten van grootschalige neerslag voor het beheersgebied van het hoogheemraadschap Delfland.



Figuur 5.8 Maximale waterstanden ten opzichte van de (legger)hoogte van de regionale waterkeringen in de boezems van Delfland bij het scenario met 200mm neerslag en natte initiële condities (bron: De Bruijn et al., 2022).



Figuur 5.9 Maximale waterdiepte in Delfland bij het scenario met 200mm neerslag en natte initiële condities (bron: De Bruijn et al., 2022).

De kaarten hebben bij voorkeur een resolutie van ongeveer 5m: deze resolutie maakt wateroverlast op straat en slootniveau goed zichtbaar. De waterstanden zijn in cm nauwkeurig, de duur in uren of dagen en de afvoeren zijn in m³/s voor de periode tijdens en na de neerslag. Om resultaten te kunnen combineren en vergelijken is het belangrijk om niet alleen de resultaten te delen, maar ook meta-informatie over de aanpak en om een zo uniform mogelijke aanpak toe te passen. Ook is het belangrijk om een bijsluiting te geven met een indicatie van de betrouwbaarheid of onzekerheid en daarmee de toepasbaarheid passend bij de methode en resultaten voor verschillende locaties.

Voor het verkrijgen van een beeld van het effect van grootschalige neerslag op waterstanden en waterdieptes worden vaak grovere modellen gebruikt waarin grotere gebieden op een minder nauwkeurige wijze geschematiseerd zijn. Er zijn wel gedetailleerde modellen aanwezig, maar die bestrijken meestal maar een klein gebied en zijn dus niet geschikt om de interactie tussen gebieden of systemen te beschouwen. Om toch een gebied dekkend beeld te krijgen, is het daarom aan te raden om “van grof naar fijn te werken en weer terug van fijn naar grof”. Eerst kan met een verkennende grovere analyse een beeld gemaakt worden van in welke gebieden het meeste wateroverlast verwacht kan worden. In die gebieden kan dan in detail verder worden gekeken. Vervolgens kunnen de resultaten uit de detailanalyses eventueel weer gebruikt worden om ook op andere locaties de uitkomsten van de grovere modellen te duiden of om deze te gebruiken als input voor de grovere modellen om de effecten op het grote systeem te beschouwen.

Processen

Het gaat bij deze stresstesten met name om het verkrijgen van een beeld van de gevolgen en handelingsperspectieven die samenhangen met de *grootschalige* neerslaggebeurtenis. Hiervoor is het belangrijk om zowel het neerslag-afvoerproces naar waterlopen te representeren als de samenhang tussen verschillende watersystemen te beschouwen.

Om een goed beeld te krijgen van het neerslag-afvoerproces is het nodig om de mogelijke berging in de bodem en waterlopen, de berging op het maaiveld en de snellere (grondwater)afvoercomponenten te beschouwen. Het belang van deze berging en snelle afvoer is gebiedsafhankelijk. Om de knelpunten in het watersysteem te vinden zullen ook de afvoer van beken en poldersloten en het samenkomen in grotere waterlopen, de afvoerknelpunten zoals vernauwingen (denk aan Valkenburg) of boezemgemalen met beperkte capaciteit beschouwd moeten worden.

Het gaat bij deze stresstesten met name om het verkrijgen van een beeld van de grootschalige impacts, de afhankelijkheden en interacties tussen gebieden en niet om het perfectioneren van wateroverlast op individuele locaties.

Overstroming vanuit waterlopen

In veel modellen van watersystemen is overstroming vanuit waterlopen niet geschematiseerd. De waterstanden in waterlopen kunnen in bijvoorbeeld 1D modellen (modellen waarin waterlopen als lijnen zijn opgenomen) oplopen tot boven de kade of het omringende maaiveld, terwijl in werkelijkheid dan gebieden overstromen en de waterstanden niet veel verder oplopen. Hier zal opgelet moeten worden: immers het geeft een te rooskleurig beeld van wateroverlast bovenstrooms en te hoge afvoeren en waterstanden benedenstrooms. Er kan in dat geval voor gekozen worden om profielen te verbreden en het overstroombaar gebied mee te nemen, of er kan berging toegevoegd worden.

Ook kan het nodig zijn om een maalstop vanuit polders in te stellen in het model als boezemwaterstanden onrealistisch ver oplopen, als dat in werkelijkheid ook als reactie verwacht kan worden (Om het effect van een doorbraak op het bedreigde gebied mee te nemen, kan gebruik gemaakt worden van bestaande overstromingssimulaties in de Landelijke Database Overstromingssimulaties of LIWO⁵. Het effect op de boezemwaterstanden wordt daarmee overigens nog niet inzichtelijk.

Er bestaan al veel hydrodynamische en hydrologische modellen die zijn ontwikkeld zijn voor andere doelen dan bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag (zie bijlage B voor een beknopt overzicht). De meest geschikte aanpak hangt af van de specifieke gebiedskenmerken en de reeds bestaande modellen en de wensen van de regio met betrekking tot detailniveau. Suggesties voor de aanpak voor verschillende gebiedstypes worden gedaan in paragraaf 5.5.2.

5.5.2 Aanbevelingen voor verschillende typen gebieden

Per gebiedstype kan de meest passende aanpak voor modellering worden vastgesteld in de inceptiefase of scoping studie van de bovenregionale stresstest. Voor veel gebieden zal dit bestaan uit een modellering per subgebied en (deel)watersysteem en het meenemen van interacties met andere subgebieden.

Vrij afwaterende gebieden

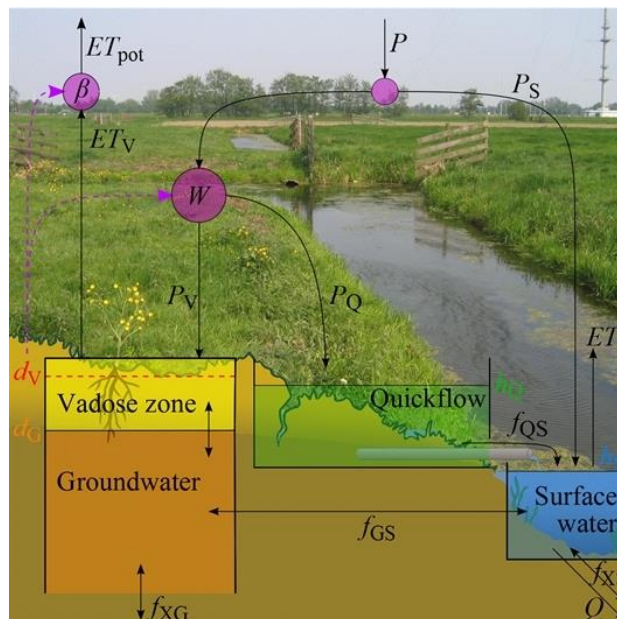
In vrij-afwaterende gebieden is het meenemen van de snelle afvoercomponenten zoals oppervlakkige afstroming en snelle grondwatercomponenten belangrijk en ook het zo goed mogelijk meenemen van afvoeren in beken en kleinere rivieren en overstroming vanuit die beken en rivieren. Hierbij kan gedacht worden aan een gecombineerde methode met:

- Een neerslagafvoermodel waarmee bepaald kan worden welk deel van de neerslag oppervlakkig afstroomt, welk deel infiltreert en via een snellere grondwatercomponent wegstroomt en welk deel infiltreert naar het diepere grondwater. Dit model kan gedistribueerd zijn, of lumped. Hier kan bijvoorbeeld WALRUS (Brauer *et al.*, 2014), of HBV voor gebruikt worden.
- Eventueel een component waarmee oppervlakkige afstroming over maaiveld wordt gesimuleerd.
- Een component waarmee de stroming door waterlopen wordt berekend. Wanneer de waterlopen door een smal natuurlijk dal lopen, kan overstroming vanuit de waterlopen bepaald worden door het extrapoleren van de waterstand uit de waterlopen (mits de overstromingsvlakte is meegenomen in het profiel van de waterloop zodat topverflakking is meegenomen). Als de waterlopen bedijkt zijn, dan kan ook een 2D modelcomponent gebruikt worden om overstroming te representeren. Het effect van een doorbraak van een dijk kan gesimuleerd worden als daar aanleiding toe is, of kan opgezocht worden als hiervoor al scenario's beschikbaar zijn in LIWO bij een zelfde type gebeurtenis (qua grote en duur). Het gebied en de wensen van de regio bepalen welke aanpak het meest gewenst is.

Al deze componenten (of de meest relevante ervan) samen kunnen gecombineerd worden met behulp van bekende pakketten als Sobek (RR-CF-2D), D-Hydro en 3Di. Wanneer bestaande modellen gebruikt worden, is het goed om te checken of waterstanden boven de kades uitkomen en of dat leidt tot een onrealistisch waterbeeld, of de afvoeren hoger zijn dan ontwerpafvoeren, of berging in het systeem goed is beschouwd en hoe de waterdiepte van regenwater dat niet in de waterloop komt meegenomen wordt.

⁵ [Kaarten \(basisinformatie-overstromingen.nl\)](https://www.karten.nl/basisinformatie-overstromingen)

In de studie van de Brabantse Delta bleken de bestaande modellen niet geschikt voor grootschalige neerslag: de afvoeren in de Mark en Aa en Weerijns werden onrealistisch groot (Slager *et al.*, 2022). Hier worden om die reden nadere analyses met fijnere modellen uitgevoerd. In waterschap Rijn en IJssel wordt een studie opgezet met een D-HYDRO RR-2D-CF-2D benadering waarin de neerslag-afvoer, oppervlakkige afstroming, waterstroming door de waterlopen en overstroming worden meegenomen om grootschalige neerslag te simuleren.



Figuur 5.10 Weergave van processen in WALRUS (bron: Brauer *et al.*, 2014).

Polder-boezemsystemen

In de polder-boezemsystemen is ook het meenemen van de sturing, en de kunstwerken cruciaal. Hierbij kan een methode toegepast worden met ook weer een neerslag-afvoercomponent waarmee de berging in de bodem, op maaiveld en de afvoer naar de boezem kan worden bepaald. In polders volstaat vaak het gebruik van een lumped neerslag-afvoermodel. De hoeveelheid geborgen water in de polder kan met behulp van een hoogtetric en initieel slotpeil worden vertaald naar een waterdieptekaart.

Met 1D module kan vervolgens de stroming door waterlopen worden berekend. Overstroming van kades zal in praktijk in gecontroleerde systemen niet te verwachten zijn: er zullen voordien al maalstops afgekondigd worden. In gebieden met instroom uit vrij-afwaterende gebieden kunnen waterstanden wel oplopen tot boven de kades. Als dit gebeurt en in het model gerekend wordt met deze hoge waterstanden, dan is in feite het model niet passend. Ook hier kunnen effecten van doorbraken meegenomen worden op basis van reeds bestaande overstromingssimulaties zoals die aanwezig zijn in LIWO. De locaties waar waterstanden in waterlopen kritisch worden kunnen in kaart gebracht worden.

Steden

Steden ondervinden ernstige wateroverlast van water op straat. Het stedelijk watersysteem en de riolering is zo ontworpen dat heftige en korte (2 uur) buien met een kans van eens in de 2 of eens in de 10 jaar niet leiden tot water op straat. Bij langdurige grootschalige neerslag is de intensiteit kleiner dan bij deze ontwerp buien. Het totale volume is echter groter of vergelijkbaar.

De grootschalige neerslaggebeurtenissen zullen vooral wateroverlast in steden geven als:

- Het watersysteem vrij afwatert en de waterlopen door de stad lopen en daar een beperkte afvoercapaciteit hebben. Dit geldt bijvoorbeeld voor Amersfoort (Valleikanaal/Eem), de Geul in Valkenburg, de Dommel in Den Bosch, de Mark in Breda etc. Hier kan de waterloop buiten zijn oever treden en daarbij water op straat geven.
- De stad in een vlak bemalen gebied ligt en het riool niet kan overstorten of afvoeren, doordat de peilen in de polder, of van het regionale watersysteem te hoog oplopen. De overstorten kunnen dan verdrinken.

In het algemeen zullen steden beter beschermd zijn, strengere normen hebben voor kades, grotere gemaalcapaciteiten en beter gesitueerd zijn dan andere landgebruikstypes. Echter, als er wel water op straat en in gebouwen komt te staan, is de schade groter. Het is heel lastig aan te geven waar exact schade zal ontstaan omdat dit niet alleen afhankelijk is van de maaiveldhoogte, maar ook van het rioleringsstelsel en de kwetsbaarheid van gebouwen.

Het nauwkeurig modelleren van het effect van grootschalige neerslag in steden op detailniveau vraagt in vlakke gebieden om het meenemen van het rioleringsstelsel (zeker bij wateroverlast door slechte drainage). Rioolmodellen zijn gemaakt voor zeer gedetailleerde analyses van korte heftige buien en sluiten niet goed aan bij grovere systeemmodellen. Het is wel mogelijk om op basis van de peilstijging van de waterlopen een indicatie te geven voor de kans op het verdrinken van riooloverstorten en daarmee van de kans op een slecht functionerend riool en wateroverlast in een bepaalde buurt. Een dergelijke indicatie past beter binnen het detailniveau van een bovenregionale stresstest, dan een gedetailleerde modellering van het rioleringsstelsel en analyse op niveau van straten of gebouwen. Aanvullend kan wel voor een voorbeeldgebied een analyse van het lokale effect gedaan worden met een gekoppeld model of een rioleringsmodel met passende randvoorwaarden.

Voorbeelden van modelaanpakken

De uitgevoerde studies voor Brabantse Delta en Zuid-Holland (respectievelijk Slager *et al.*, 2023 en De Bruijn *et al.*, 2022) en voor Limburg (Asselman en Van Heeringen *et al.*, 2022) (zie ook hoofdstuk 4) en de lopende studies voor Waterschap Rijn en IJssel (uitgevoerd door HKV) en de scoping studie voor het Amsterdam-Rijnkanaal /Noordzeekanaal (De Bruijn & Juch, 2023) kunnen gebruikt worden als voorbeelden voor de aanpak van neerslagmodellering en wateroverlastmodellering in verschillende typen gebieden.

5.6 Bepalen van de gevolgen

5.6.1 Inleiding en overzicht categorieën

Het bepalen van de impacts is cruciaal voor de risicodialoog. Om ook verschillende stresstestresultaten te kunnen combineren tot een kaart of om vergelijking mogelijk te maken, is het nodig dat minimaal een aantal basisimpacts bepaald worden en dat dit op een vergelijkbare of reproduceerbare wijze gebeurt.

Voor het in beeld brengen van de gevolgen van grootschalige neerslag wordt op basis van eerdere stresstesten voor Zuid-Holland, HDSR, Brabantse Delta en die van Kolen *et al.* (2022) voorgesteld om in ieder geval de volgende impacts te bekijken:

- Getroffen hectares en percentage getroffen hectares per landgebruikscategorie;
- Aantal getroffen woningen en percentage getroffen woningen;
- Aantal getroffen inwoners en percentage van het totaal aantal inwoners;
- Monetaire schade en percentage van de totale maximale schade in de regio;

- Overige gevolgen: Het is aan te raden om indien mogelijk ook andere, moeilijk kwantificeerbare gevolgen te noemen, zoals milieuschade, natuurschade, stress, schoonmaakkosten. Een kwalitatieve aanduiding helpt al om deze posten niet over het hoofd te zien.

In tabel 5.3 wordt als voorbeeld de schadetabel voor het geanalyseerde gebied in Zuid-Holland getoond.

Tabel 5.3 Schades in miljoenen euro's (prijspeil 2022) voor het 200mm event bij natte initiële condities voor alle waterschapsbeheersgebieden in Zuid-Holland en de totale schade in het geanalyseerde gebied. Ook is de potentiële schade van het totale geanalyseerde gebied gegeven ("potentieel") en het % hiervan dat door grootschalige wateroverlast getroffen wordt (bron: De Bruijn et al., 2022).

	Delfland	Rijnland	Hollande Delta	Schieland en Krimpenerwaard	Som schade	Potentieel	%
Woningen	86.9	61.6	31.0	49.4	228.8	338.400	0.07
Stedelijk gebied	144.0	101.8	78.6	80.4	404.8	28.800	1.41
Bedrijven	161.4	131.9	52.0	89.7	435.0	137.184	0.32
Infrastructuur	43.0	46.2	15.0	9.6	113.8	9.410	1.21
Glastuinbouw	252.0	27.9	21.2	22.8	324.0	4.800	6.75
Landbouw	26.4	83.2	55.3	40.8	205.7	2.400	8.57
Recreatie	62.8	51.0	37.1	31.3	182.2	2.988	6.10
Gemalen en vervoermiddelen	34.2	30.0	7.7	9.4	81.3	15.000	0.54
Vliegvelden	0.0	3.8	0.0	6.4	10.1	1.440	0.70
Zuiveringsinstallaties	0.0	26.4	25.2	4.8	56.4	1.200	4.70
Totaal	811	564	323	345	2042	541.622	0.38
Getroffenen	17.480	12.883	6.631	18.870	55.864	3.729.000	1.4

Er zijn twee schademodellen in gebruik:

- 1 *De Waterschadeschatter van STOWA* bedoeld voor wateroverlast en met schadecurves voor dieptes tot maximaal 30 cm. Dit model is zeer gedetailleerd voor landbouwschade en minder geschikt voor schade aan woningen en in stedelijk gebied. Ook de schade horend bij grotere waterdieptes wordt onderschat, tenzij de schade al maximaal is bij 30cm waterdiepte (denk aan schade aan wegen bijvoorbeeld). Het model houdt rekening met de duur van wateroverlast en ook met het seizoen. Beide zijn voor landbouwschade belangrijk.⁶
- 2 *SSM2023 van RWS*: Dit model is gemaakt voor de bepaling van schade door overstromingen. Er zijn 3 modules: een voor overstromingen door doorbraken in primaire keringen, een voor overstromingen vanuit het regionale watersysteem en een voor buitendijkse gebieden. De modules verschillen met name in de resolutie (25m voor grootschalige overstromingen 5m voor regionaal en buitendijks) en in de beschouwing van indirecte schade. Bij grootschalige overstromingen wordt uitgegaan van langdurige overstroming in een groot gebied waardoor de indirecte effecten groot zijn. Bij regionale en buitendijkse overstromingen zijn deze niet beschouwd omdat daarbij veel indirecte effecten wegvallen doordat er vervangende wegen/productiemogelijkheden zijn buiten het (beperkte) overstromde gebied.

⁶(<https://www.waterschadeschatter.nl/damage/>)

De landbouwschade is grof geschat omdat bij overstromingen de schade aan bewoonde gebieden, industriegebieden en infrastructuur meestal een veelvoud is van de landbouwschade. Ook wordt uitgegaan van overstroming in het winterseizoen voor landbouwschade.

Beide schademodelen geven een indicatie van getroffen objecten, oppervlaktes en schades. De achtergronden, data en curves zijn verschillend. Er loopt onderzoek om deze te vergelijken van de STOWA (Hoes et al. In prep.). Voor alsnog wordt aangeraden om de gebruikte schademodule te noemen zodat de getallen reproduceerbaar zijn en voor gebieden waar vooral de landbouwschade relevant is de WSS te gebruiken en voor andere gebieden SSM2023. Hierbij is ook het noemen van het prijspeil relevant om de vergelijking zuiver te houden.

Voorgestelde uitgangspunten voor bovenregionale stresstesten:

Deze worden hier verder uitgewerkt. De belangrijkste uitgangspunten die hier voorgesteld worden, zijn:

- *Schademodel:* Gebruik de regionale module van SSM2023 van RWS of de WSS van STOWA. Voor diepere gebieden, of gebieden waar de schade aan infrastructuur of bewoond gebied relevant is, is waarschijnlijk SSM2023 een logischer keuze, terwijl voor landbouwgebieden de WSS meer gedetailleerde schadeschattingen zal geven.
- *Prijspeil:* Geef de schade in prijspeil 2022. Dit komt overeen met de standaarduitvoer van SSM2023
- Tabel 5.4 geeft een voorstel voor de te landgebruikcategorieën en objecttypes waarvoor schade bepaald zou moeten worden.

Tabel 5.4 Voorstel te bepalen categorieën en eenheden.

hoofdgroep	Categorieën	Eenheid
Landgebruik categorieën	Stedelijk gebied Bedrijfsterrein Landbouw Glastuinbouw Intensieve recreatiegebieden Extensieve recreatiegebieden Natuur	Ha en % van totaal
Woningen	Eensgezinswoningen en appartementen op begane grond	Aantal
Getroffenen	Aantal bewoners van woningen met wateroverlast	Aantal
Totale monetaire schade	Totale directe schade	Euro , % van max schade
Overige gevolgen	Schade die relevant is voor het betreffende gebied, maar lastig te kwantificeren zoals bijvoorbeeld: milieuschade, natuurschade, stress, schoonmaakkosten	Kwalitatieve indicatie

Overige gevolgen

Schade door bedrijfsuitval, indirecte schade ten gevolge van het uitvallen van kritieke infrastructuur, kosten van hulpverlening, evacuatie, opruimen en nazorg, milieuschade door verontreiniging, gezondheidsschade en of schade door stress, ontwrichting, imagoschade of reputatieschade van locaties wordt in de bestaande schademodelen niet beschouwd. Deze posten kunnen kwalitatief beschouwd worden en apart benoemd worden als 'overige gevolgen', zeker wanneer deze als belangrijk beschouwd worden.

Het economisch waarden van ontwrichting door uitval van stroom, verminderde bereikbaarheid van kwetsbare objecten, en andere indirecte effecten is moeilijker. Voor deze ontwrichting kan ook een beeld gegeven worden door bijvoorbeeld het aantal getroffen mensen te geven (bij stroomuitval bijvoorbeeld), of het aantal vervoermiddelen dat normaal gebruik maakt van de weg en de duur van wateroverlast.

Herstel

Na schade komt herstel. In veel studies is de hersteltijd, de tijd die het duurt voordat schade herstelt is, onderbelicht. Voor een compleet beeld van de gevolgen en impacts van een grootschalige neerslaggebeurtenis is het aan te bevelen hersteltijd ook te beschouwen, desnoods kwalitatief.

5.6.2 Vitaal en kwetsbare infrastructuur

De gevolgen van wateroverlast op het functioneren van vitaal en kwetsbare objecten moeten in beeld worden gebracht om de impact van de wateroverlast op mensen in en buiten het getroffen gebied te begrijpen. Op dit moment loopt er veel onderzoek naar vitaal en kwetsbare infrastructuur Meijer *et al.*, 2023; Honing *et al.*, 2023). Veiligheidsregio Utrecht is namens alle Veiligheidsregio's een lijst en dataset aan het ontwikkelen van vitaal en kwetsbare infrastructuur op verschillende niveaus (landelijk en regionaal) . De lijst wordt begin 2024 verwacht, de dataset een jaar later.

Zo lang er geen vastgestelde lijst is van welke vitaal en kwetsbare infrastructuur meegenomen zou moeten worden op landelijk en/of regionaal niveau wordt voorgesteld om uit te gaan van de best beschikbare informatie per regio.

Voor vitaal en kwetsbaar wordt in deze paragraaf een basisaanpak gegeven en worden ook opties voor geavanceerde aanpakken voorgesteld. De minimale aanpak bestaat uit het over elkaar leggen van kaarten van vitaal en kwetsbare objecten en waterdiepte kaarten passend bij grootschalige neerslagoverlast. Bij de meer geavanceerdere aanpakken wordt gekeken of objecten die getroffen worden door wateroverlast, ook daadwerkelijk uitvallen en wat het effect van uitval van het object is voor het netwerk en voor andere netwerken.

Omdat er nog geen uitgewerkte standaardaanpak is voor de analyse van het effect van wateroverlast op vitaal en kwetsbare infrastructuur is het bij de rapportage cruciaal om te vermelden:

- de gebruikte data en bronnen
- eventuele keuzes of uitgangspunten (e.g. waterdieptedrempelwaarde waarbij er kans is op uitval)
- en of en in hoeverre eventuele validatie of verificatie heeft plaatsgevonden met beheerders of in het veld of juist nog aan te raden is.

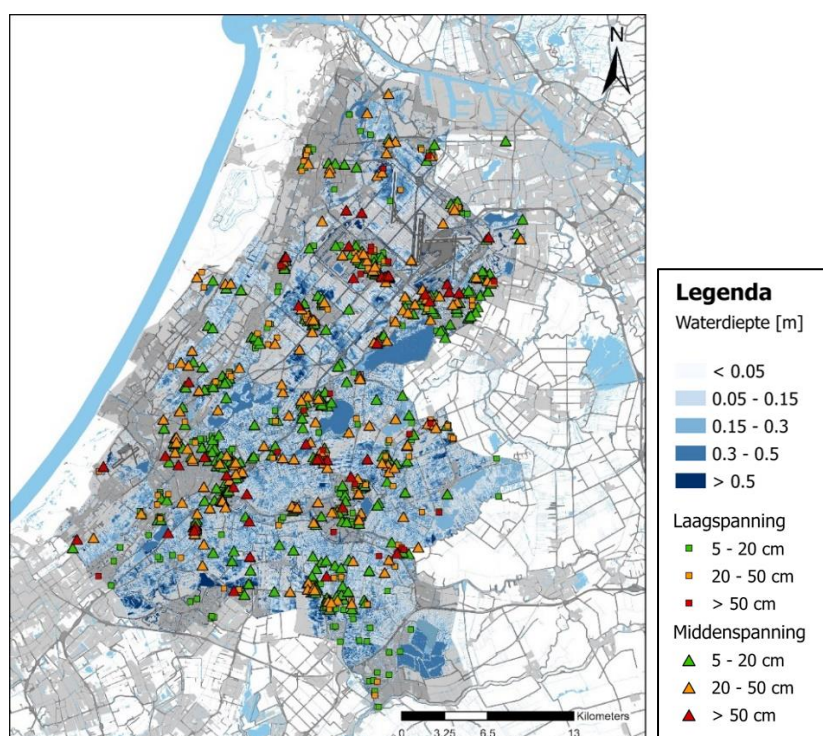
Basis aanpak:

Het is aanbevolen de impacts te bepalen voor de volgende categorieën vitaal en kwetsbare infrastructuur:

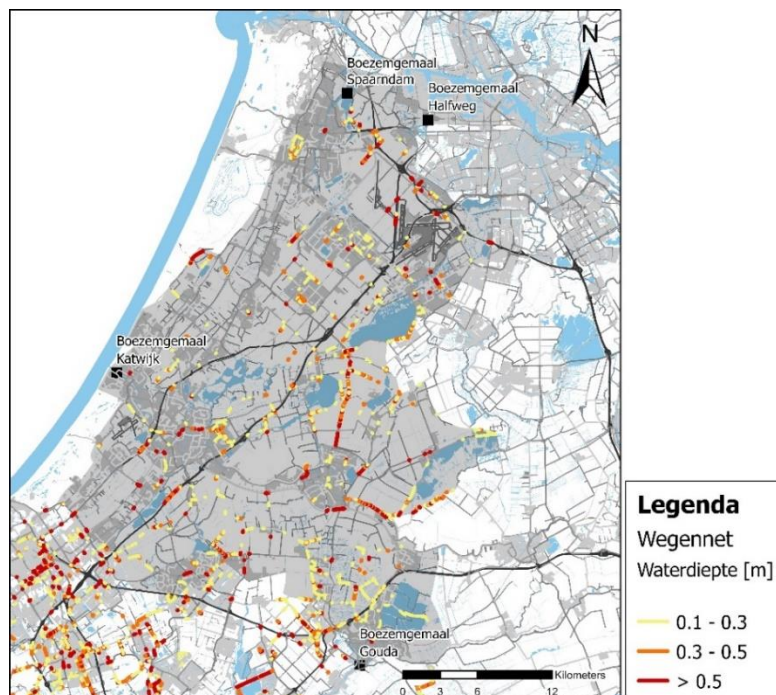
- 1 *Gevolgen voor nutsvoorzieningen*; Bekijk welke transformatorstations, communicatiemasten en eventuele andere objecten voor elektriciteit, communicatie, gas, watervoorziening, waterafvoer en waterzuivering worden getroffen door wateroverlast door kaarten met de locatie van deze elementen te combineren met het waterbeeld en vergelijk de waterdiepte met drempelwaardes voor wateroverlast. Voor de drempelwaardes gaan nu nog verschillende indicaties rond. Zo lang er geen vastgestelde drempelwaardes zijn, is aan te raden in beeld te brengen welke objecten te maken

krijgen met minimaal 20 of respectievelijk 50cm waterdiepte. Het is aan te raden de resulterende kaart te controleren met beheerders.

- 2 *Gevolgen voor transportinfrastructuur;*
 - a Het wegennetwerk kan over de waterdieptekaarten heen gelegd worden om te bepalen waar water op straat komt te staan. Hierbij kan ook de duur meegenomen worden. Vervolgens zal gecorrigeerd moeten worden voor de aanwezigheid van werkende pompen in tunnels en laaggelegen delen. Aangezien wegen vaak langs boezems of sloten lopen, is een hoge resolutie vereist om te veel modelartefacten te voorkomen. Naast wegen die onderlopen kunnen ook boezemkades ontoegankelijk worden in het geval van kritische waterstanden op de boezems.
 - b Het effect van de wateroverlast op het functioneren van de spoorlijnen, trams, metrolijnen en scheepvaart kan aangegeven worden op kaart en/of in tekst.
- 3 *Gevolgen voor kwetsbare objecten en IED bedrijven;*
 - a Met behulp van de data van SSM2023 en of risicokaart.nl of andere bronnen kan een beeld gegeven worden van de getroffen kwetsbare objecten en IED bedrijven. Het is aan te raden dit beeld vervolgens nog te valideren in het veld of met beheerders.



Figuur 5.11. Voorbeeld van blootstellingskaart voor elektriciteit uit de case studie Zuid-Holland: 'Analyse grootschalig wateroverlast' (de Bruijn et al., 2022).



Figuur 5.12 Voorbeeld van blootstellingskaart voor wegennet uit de case studie Zuid-Holland: 'Analyse grootschalig wateroverlast' (de Bruijn et al., 2022).

Geavanceerde aanpakken

Wanneer gewenst kan in de stresstest, of tijdens het traject van de risicodialogen, ook een meer geavanceerde aanpak gevolgd worden. Hierbij kan een verbeteringslag gemaakt worden door:

- Een verificatie van de getroffen objecten en het bepalen van schade of uitval aan het object: vallen deze inderdaad uit of staan er in werkelijkheid pompen of zijn objecten aangepast (zie ook Honingh *et al.*, 2023)
- Als het object uitvalt kan vervolgens met bijvoorbeeld een CIRCLE workshop⁷ analyse of op een andere wijze gekeken worden of uitval van het object leidt tot uitval van (een deel van) de functie van het netwerk waar het object deel van uitmaakt en naar de impact van uitval op andere functies en op de maatschappij.

Het gewenste detailniveau en de benodigde verificatie kan vastgesteld worden in de scoping fase en eventueel kan in de risicodialoog nog verder informatie gezocht worden als nodig.

⁷Circle is een methode om samen met stakeholders cascade-effecten te bepalen. Door open data te combineren met expertkennis is het mogelijk om op een snelle en inzichtelijke manier de cascade-effecten in beeld te brengen zonder gedetailleerde netwerkdata. Het kan worden gebruikt tijdens workshops waarbij verschillende netbeheerders en belanghebbenden in een gebied hun kennis inbrengen (zie www.deltares.nl/software-en-data/producten/circle-vitale-infrastructuur)

5.7 Respons

Om de vragen bij een dergelijk grootschalige gebeurtenis en de mogelijkheden voor respons door zowel waterbeheerders als crisisorganisaties en anderen in beeld te brengen kan een verkennende oefening of storyline-sessie georganiseerd worden. Hierin kan stapsgewijs door het scenario heen gegaan worden waarbij gekeken wordt naar:

- De voorspelling (stel de gebeurtenis zou voorspeld worden bijvoorbeeld 2 dagen van te voren, wat zou men dan doen?)
- Aan het begin van de neerslag
- Na 24 uur,
- na 48 uur en daarna tot en met het herstel.

De waterbeelden, en gevolgenkaarten kunnen gebruikt worden en de waterbeheerders, veiligheidsregio's, netwerkbeheerders en anderen kunnen op basis van hun protocollen, gangbare werkwijze en kennis van het systeem aangeven welke informatie ze zouden aanvragen of willen bekijken, welke besluiten of maatregelen ze zouden willen nemen en welke informatie gedeeld zou worden met andere organisaties of de burgers.

Zo'n verkenning levert een eerste beeld van de mate van voorbereiding, de verantwoordelijkheden en eventuele onduidelijkheden daarin, de benodigde capaciteit, de informatiebehoefte en draagt bij aan inzicht in het handelingsperspectief. Een dergelijke storyline-benadering is met name nuttig voor crisisbeheersing, maar kan ook input leveren voor ruimtelijk beleid.

5.8 Verkenning handelingsperspectieven

Voor een risicodialoog is het goed om enkele kentallen en gevoel van ordes van groottes van effecten en kosten van maatregelen in beeld te hebben. Hiervoor kunnen verkennende scenario's geanalyseerd worden en of literatuuronderzoek gedaan worden als voorbereiding voor risicodialogen. Denk hierbij aan vragen zoals:

- Wat zijn mogelijke typen maatregelen?
- Hoeveel effect hebben de maatregelen op de mate of duur van wateroverlast of de gevolgen ervan?

Voorbeelden van maatregelen waaraan gedacht kan worden zijn: inzet van noodberging, vergroten van de infiltratiecapaciteit, maalstops of verhoogd aanleggen van kritieke infrastructuur om uitval te voorkomen of het in voorraad houden van reserveonderdelen van transformatorstations, het voorbereiden van informatie voor burgers, het voorbereiden van respons of het vrijhouden van de laagste 10% van poldergebieden van kwetsbare bebouwing.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Het doel van dit rapport was ten eerste het maken van een eerste landelijk beeld van knelpunten bij grootschalige neerslag. Door zo'n eerste beeld te maken start de discussie over hoe een dergelijk beeld er uit zou moeten zien en op welke factoren zo'n beeld gebaseerd zou moeten worden. Ten tweede was het doel om een voorstel te doen voor een methode voor het uitvoeren van bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag en daarbij aandacht te geven aan de keuzes die gemaakt moeten worden om het genereren van een landelijk beeld mogelijk te maken.

Op basis van de analyses zijn de volgende conclusies te trekken:

- Er zijn twee typen landelijke beelden nodig: een geaggregeerde landelijke kaart en een landelijk beeld van knelpunten. De geaggregeerde landelijke kaart komt tot stand door het samenvoegen van de resultaten van alle regio's. Deze geeft gedetailleerde informatie en hierop kan dan ook worden ingezoomd tot waardes per locatie. Het landelijk beeld van knelpunten is een weergave van de conclusies die getrokken kunnen worden als straks alle bovenregionale stresstesten zijn uitgevoerd. Deze geeft in een oog opslag weer waar knelpunten en of kwetsbare gebieden liggen (waar overlast verwacht wordt die significante schade of ontwrichting geeft) en onderbouwt deze ook. Het is een visualisatie met duiding.
- Op basis van expertkennis is een eerste landelijk beeld geschetst. Hiervoor is informatie samengebracht gerelateerd aan
 - het waterbeeld (waar wordt water op maaiveld verwacht en hoe lang/hoe diep/hoe gevaarlijk kan dat zijn),
 - de gevolgen (welke gebieden zijn gevoelig voor water op maaiveld)
 - en respons (waar is crisismanagement lastiger en is er meer kans op het overmand worden van de crisisorganisaties).
- Op basis van de eerste analyse en beschikbare kennis zijn vooral kwetsbaar: het ARK-NZK systeem, de gebieden aan de noordzijde van Noord-Brabant waar grote vrij-afwaterende gebieden uitstromen in vlakke locaties en steden en dorpen langs waterlopen in vrij-afwaterend gebied waar water uit een groter stroomgebied cumuleert. Dit beeld moet worden bijgesteld en aangescherpt en verder gedetailleerd op basis van de resultaten van de bovenregionale stresstesten voor grootschalige overlast.

Op basis van bestaande methodes gebruikt voor het afleiden van normen, het toetsen van watersystemen en methodes uit eerdere stresstesten voor grootschalige neerslag en de wens om het waterbeeld, gevolgen en respons mee te nemen is een methode opgesteld op hoofdlijnen. Ook zijn voorstellen gedaan voor de te analyseren scenario's, voor de te bepalen parameters van het waterbeeld en voor de gevolgen zodat te zijner tijd de uitkomsten voldoende uniform zijn om het aggregeren en analyseren voor het hele land mogelijk te maken. De methode is gegeven in Figuur 5.1, de te analyseren basisscenario's in Figuur 5.4 en suggesties voor mogelijke extra scenario's in Tabel 5.2. Ook zijn aanpakken voor het bepalen van het waterbeeld en de gevolgen gegeven.

6.2 Aanbevelingen

Om een goed beeld te krijgen van wat de gevolgen zijn van grootschalige neerslag en welke maatregelen of handelingsperspectieven overwogen kunnen worden in de risicodialoog ontbreekt nog kennis. Bij deze analyse kwamen de volgende aanbevelingen naar voren:

- 1 Kijk in meer detail naar regionale keringen en naar regionale watersystemen:**
 - In de huidige redentatie en modellen worden de regionale keringen standzeker verondersteld en kunnen alleen overlopen. In werkelijkheid zullen de boezemkades of andere keringen lange tijd veel water moeten keren en zo mogelijk verzadigd raken. Kan er dan nog uitgegaan worden dat de keringen standzeker zijn?
- 2 Maak een handreiking voor de modellering van grootschalige wateroverlast:**
 - Deze kan net als de handreiking overstromingssimulaties suggesties doen voor default keuzes en andere opties geven. Deze handreiking gaat idealiter ook in op de samenhang tussen de gebieden op watersysteemniveau, voorgestelde modelleeraanpak en scenario's. Neem hierbij voorbeelden mee uit reeds afgeronde of lopende projecten. Met een dergelijke handreiking kunnen ingenieurbureaus en waterschappen een vliegende start maken en ontstaat er meer uniformiteit in aanpak en in rapportage van keuzes.
- 3 Verder uitwerken gevolgebepaling:**
 - Op basis van de waterbeelden kan gebruik worden gemaakt van o.a. SSM(2017/2023) of de WaterSchadeSchatter om gevolgen in kaart te brengen. Welke methode de voorkeur heeft voor verschillende situaties in verschillende gebieden dient nader onderzocht te worden.
 - Het beter in beeld brengen van het effect van grootschalige neerslag en wateroverlast op het functioneren van vitale netwerken en de maatschappelijke impact van eventuele uitval (hier wordt al onderzoek aan gedaan).
- 4 Verken maatregelen zodat met basiskennis over wat waar mogelijk is gestart kan worden aan de risicodialoog:**
 - Om te bepalen of de overlast acceptabel is en maatregelen te overwegen is inzicht nodig in de mogelijkheden, effecten en kosten van maatregelen. Denk hierbij aan:
 - maatregelen ter reductie van wateroverlast zoals het vergroten van sponswerking (hier wordt al onderzoek aan gedaan), het aanpassen van het watersysteem (als gevolgen onacceptabel zijn: bijvoorbeeld noodmaatregelen, nieuw gemaal, bergingsgebied of rek in peilen, etc.)
 - Maatregelen voor gevolgreductie: zoals normering of aanpassing van vitale infrastructuur en kritieke objecten (hier wordt al onderzoek aan gedaan)
 - Ruimtelijke adaptatie maatregelen: Hoeveel berging is nodig, wat zijn mogelijke inrichtingsopties en wat is het effect op het gesteld staan voor grootschalige wateroverlast.
 - Maatregelen om de voorbereiding, communicatie en het bewustzijn te verbeteren, zoals het voorbereiden van informatie over de te verwachten overlast en mogelijke adequate acties van bijvoorbeeld burgers, bedrijven en lokale overheden.
- 5 Verbind de bovenregionale stresstest voor grootschalige neerslag en de risicobenadering:**
 - Om een gebied gesteld te laten staan voor extreme neerslag zijn zowel maatregelen nodig voor meer frequente en voor meer zeldzame gebeurtenissen. Om dit concreter te maken is het aan te bevelen een concrete casestudie uit te werken.

6 Verbind de bovenregionale stresstest voor grootschalige neerslag met ander stresstesten

- In Nederland worden op verschillende ruimtelijke en tijdsschalen stresstesten uitgevoerd waarvan de landelijke bovenregionale stresstest er een is. Idealiter worden waar dat mogelijk is stresstesten met elkaar gelinkt of in de tijd uitgevoerd zodat stresstesten in dezelfde regio gebruik kunnen maken van elkaars bevindingen. Een goede afstemming tussen de uitvoerende partijen is daarvoor cruciaal. Het is aan te raden om dit voor een concrete case uit te werken.

7 Referenties

- Asselman, N. en KJ van Heeringen (2022) Een watersysteemanalyse – wat leren we van het hoogwater van juli 2021? Inzichten in het functioneren van beeksystemen bij grote hoeveelheden neerslag en het effect van systeemmaatregelen. Deltares rapport 11207700-000-ZWS-0035
- C. C. Brauer, A. J. Teuling, P. J. J. F. Torfs, R. Uijlenhoet, 2014a. The Wageningen Lowland Runoff Simulator (WALRUS): a lumped rainfall-runoff model for catchments with shallow groundwater, *Geoscientific Model Development*, 7, 2313-2332, <http://www.geosci-model-dev.net/7/2313/2014/gmd-7-2313-2014.pdf>
- De Bruijn, K.M. & Slager, K. (2022a). *Wat als 'de waterbom' elders in Nederland was gevallen? Hackathon Deltares*, November 2021. Deltares rapport 11206890-010-GEO-0006. Deltares, Delft.
- De Bruijn, K.M. et al., (2022). *Casestudie Zuid-Holland: 'Analyse grootschalige wateroverlast'*. 11208520-000-ZWS-0002, juni 2022. Deltares, Delft
- De Bruijn, K.M. Juch, S. (2023). *Bovenregionale stresstest grootschalige wateroverlast: scoping studie voor het afwateringsgebied van het ARK-NZK*. Deltares 11209620.003. Deltares, Delft.
- De Vries, L. (in prep.) *Handreiking bovenregionale stresstesten wateroverlast*.
- DPRA (2020). *Standaarden voor de stresstest wateroverlast (herzien o.b.v. nieuwe neerslagstatistiek 2019)* Notitie, 7 april 2020.
- ENW (2021). *Hoogwater 2021*. Feiten en duiding. Expertise Netwerk Waterveiligheid.
- Kolen, B. et al. (2022). *Methodiek voor uitwerken bovenregionale extreme neerslagsscenario's als input voor stresstesten, ruimtelijk ordening crisisbeheersing en risico analyse*. NKWK Werkpakket Wateroverlast en overstroming 2022. Concept versie 0.9. 10 november 2022.
- Ministerie van Infrastructuur en waterstaat (2022a). *Eerste advies beleidstafel wateroverlast en hoogwater*. 55 pagina's. Downloadbaar van: [Eerste advies Beleidstafel wateroverlast en hoogwater | Rapport | Rijksoverheid.nl](#)
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat et al. (2022). *Eindadvies Beleidstafel wateroverlast en hoogwater*. Voorkomen kan niet, voorbereiden wel. Allemaal aan de slag. 102 pagina's.
- Ministerie van I&W (2020). *Gebruikershandleiding Schade Slachtoffer Module (SSM)*.
- Slager, K., & Wagenaar, D. (2017). *Standaardmethode 2017 Schade en slachtoffers als gevolg van overstromingen*. 11200580-004. Deltares.Delft.
- Slager, K. (2024). *Quicksan grensoverschrijdende regionale wateren en stroomgebieden*, JCAR ATRACE report 202401-001
- Slager, K., Douben, KJ, Deurloo, T, Van der Doef, M., Mulders, M. (2023). *Globale analyse impacts bovenregionale wateroverlast Brabantse Delta. Het ontwikkelen en testen van een methode om de mogelijke impacts van de Limburgbui (juli 20221) in beeld te brengen*. Deltares, rapport 1208014-008. Deltares, Delft.

Snippen, E., Asselman, N. Groenwege, R., Shaffrey, T., Cunningham, A., Wolters, H. (2023).
Klimaatbestendige netwerken: methodiek en pilot stresstest wateroverlast hoofdwatersysteem.
Deltares rapport 11209213-000-ZWS-0002, Deltares, Delft.

Sherman, L. K. (1932) *Streamflow from rainfall by unit-graph method*, Eng. News Rec., 108, 501–505, 1932.

STOWA (2021). *Provinciale normering wateroverlast: Hoe toekomstbestendig is de huidige aanpak en werkwijze?* Rapport 50, STOWA.

Van Ginkel, K. et al. (2022). *Grootschalig Neerslag Event provincie Zuid-Holland. Effecten op bereikbaarheid op het Hoofdwegenetwerk en onderliggend netwerk*. Deltares, Delft.

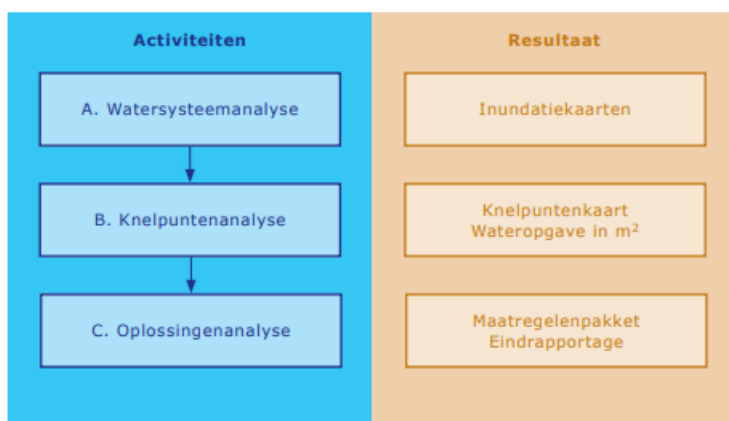
WAVE (2020). *Handreiking Redden van mens en dier tijdens overstromingen*

A Bestaande normen en stresstesten

A.1 Watersysteemanalyse voor de NBW toetsing

In 2003 hebben overheden met het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) een standaard werkwijze vastgelegd hoe zij gezamenlijk de grote wateropgave voor Nederland in de 21ste eeuw aan gaan pakken. Ieder waterschap is verantwoordelijk voor de watersysteemtoetsing aan de provinciaal vastgelegde normen aan haar gebied, resulterend in knelpunten (STOWA, 2011).

Het standaard proces voor de uitvoering van een watersysteemtoetsing bestaat uit drie hoofdactiviteiten die ieder een product opleveren: 1. De watersysteemanalyse, 2. Knelpuntenanalyse en 3. Oplossingsanalyse.



Figuur A.1 Opbouw van het standaard proces voor de uitvoering van een watersysteemtoetsing (STOWA, 2011).

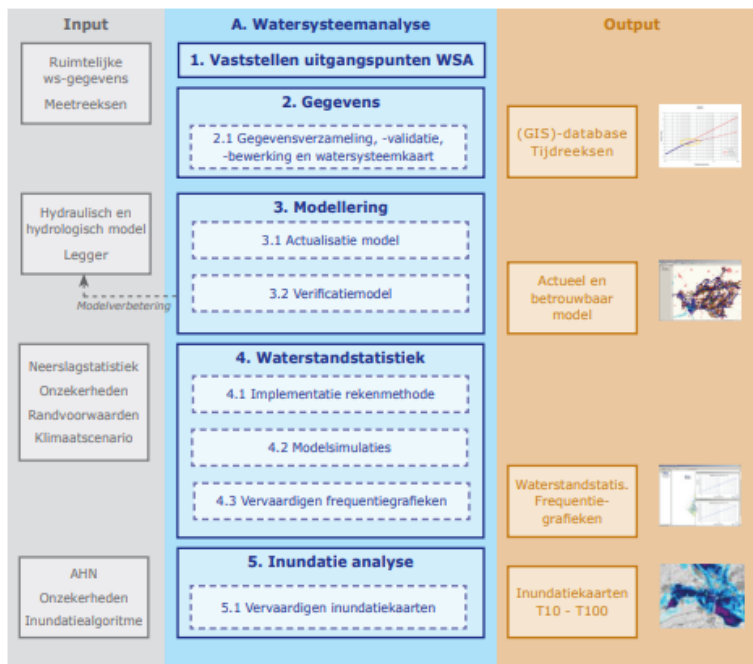
A. Watersysteemanalyse

De watersysteemanalyse heeft als doel om het functioneren van het bestaande watersysteem te begrijpen. Figuur A.2 geeft de verschillende activiteiten binnen de watersysteemanalyse weer. De precieze invulling en de te gebruiken data is afhankelijk van de beschikbaarheid en kwaliteit van de benodigde gegevens.

In STOWA (2011) is een inventarisatie gemaakt van de gebruikte invoer voor het bepalen van de waterstandstatistiek. Mogelijke methodes zijn:

- met behulp van een maatgevende afvoer (stationaire methode).
- met de stochastenmethode.
- met de tijdreeksmethode.
- met normbuien waarbij neerslaggebeurtenissen representatief worden verondersteld voor herhalingsperioden van extreme waterstanden.

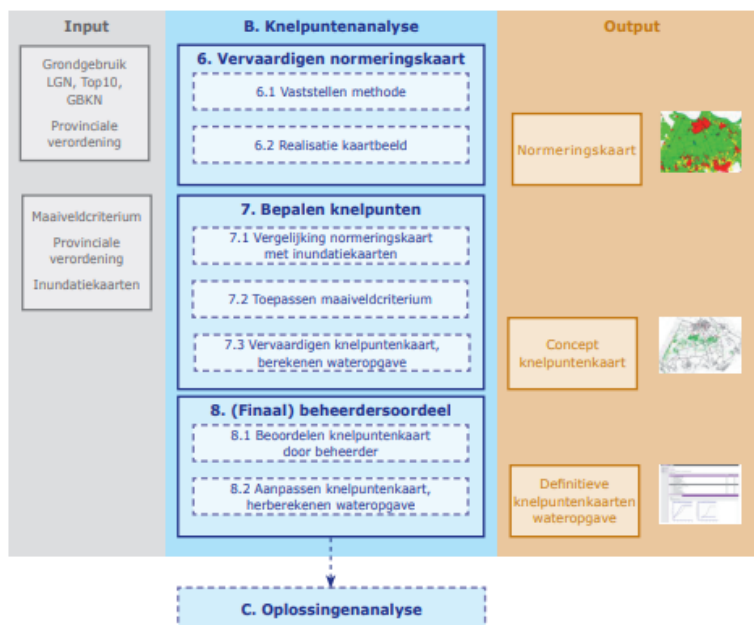
Voor het bepalen van de inundatiegebieden zijn de berekende extreme waterstanden eerst geïnterpoleerd over de waterlopen en vervolgens geprojecteerd op een hoogtekaart. Vervolgens is het berekende volume van de inundaties gecontroleerd. Dit dient globaal overeen te komen met het volume van de waterafvoergolf (boven maaiveldniveau). Bij het berekenen wordt indirect rekening gehouden met de aanwezigheid van kades. Inundaties die worden berekend met behulp van GIS en zich bevinden in laagten die niet verbonden zijn met het oppervlaktewater, zijn zoveel mogelijk geëlimineerd.



Figuur A.2 Activiteiten en onderdelen binnen de watersysteemanalyse (STOWA, 2011).

B. Knelpuntenanalyse

De knelpuntenanalyse maakt gebruik van de resultaten van de watersysteemanalyse en heeft als doel om te controleren of het watersysteem voldoet aan de regionale normen voor wateroverlast. De normen zijn vastgesteld in de provinciale verordeningen. Figuur A.3 geeft de verschillende activiteiten binnen de knelpuntenanalyse weer.



Figuur A.3 Activiteiten en onderdelen binnen de knelpuntenanalyse (STOWA, 2011).

C. Oplossingsanalyse

Als er knelpunten zijn gevonden in de knelpuntenanalyse, dan worden verschillende oplossingen geanalyseerd. Vaak wordt de oplossingsanalyse buiten beschouwing gelaten binnen de standaard NBW werkwijze.

Voorbeeld

In tekstbox 1 is een voorbeeld gegeven voor Noord-Holland. Hier is een maaiveldcriterium toegevoegd: een klein percentage van het gebied hoeft niet aan de enorm te voldoen. In praktijk is gebleken dat het soms niet wenselijk is om iedere locatie aan deze norm te laten voldoen. Enkele vlonders, parkeerplaatsen of kleine gebieden kunnen vaker te maken krijgen met water op maaiveld zonder dat daar significante wateroverlast door ontstaat.

Artikel 2.3 Normen Waterkwantiteit. (uit “Verordening van Provinciale Staten van de provincie Noord-Holland houdende regels omtrent water (Waterverordening Rijnland)”

Normen gerelateerd aan vorm landgebruik

Binnen bepaalde kom	Norm	Maaiveldscriterium
Bebouwd gebied	1/100	0%
Overig gebied	1/10	5%
Glastuinbouw	1/50	1%

Buiten bepaalde kom	Norm	Maaiveldscriterium
Hoofdinfrastructuur en spoorwegen	1/100	0%
Glastuinbouw en hoogwaardige land- en tuinbouw	1/50	1%
Akkerbouw	1/25	1%
Grasland	1/10	5%

Tekstbox 1: voorbeeld van NBW normen voor de provincie Noord-Holland (bron: [Verordening van Provinciale Staten van de provincie Noord-Holland houdende regels omtrent water \(Waterverordening Rijnland\) | Lokale wet- en regelgeving \(overheid.nl\)](#), geraadpleegd op 14/9/2023)

A.2 Normering voor boezemkades (regionale waterkeringen)

Nederland heeft een uitgebreid stelsel van regionale waterkeringen (ongeveer 14.000 km) om bescherming te bieden tegen overstromingen vanuit binnenwateren. Provincies zijn verantwoordelijk voor het aanwijzen en normeren van regionale keringen door middel van provinciale waterverordeningen op basis van de Waterwet. Regionale waterkeringen omvatten zowel 'natte' elementen (zoals kades langs boezemwateren) als 'droge' waterkeringen (die bescherming bieden tegen buitenwater). Ze kunnen verschillende functies hebben, zoals wegen, recreatiegebieden, landbouwgrond, aanlegplaatsen en landschapselementen.

Het proces van normeren en verzekeren van regionale waterkeringen gebeurt in verschillende stappen:

- 1 Aanwijzen van waterkeringen en vaststellen van gewenst veiligheidsniveau in provinciale waterverordeningen.
- 2 Toetsen of de waterkeringen voldoen aan de gestelde normen.
- 3 Het verbeteren van de veiligheid, indien de veiligheid van de waterkering niet voldoet aan de norm.
- 4 Beheer en onderhoud van waterkeringen om veiligheid te behouden.

De veiligheidsklasse wordt afgeleid via een iteratief proces, bekend als de IPO methode (STOWA, 2008). Het begint met het berekenen van de gevolgschade na het falen van een boezemkadevak, veroorzaakt door een hydraulische belasting die eens in de 100 jaar voorkomt (veiligheidsklasse III). Hierbij wordt er geen risico gehouden met slachtoffers omdat er wordt aangenomen dat een overstroming door boezemwater relatief langzaam zal verlopen en in het algemeen geen overstromingsdiepte oplevert van meer dan 2,5 m

(STOWA, 2020). Er wordt wel rekening gehouden met compartimentering van grondlichamen als spoordijken en wegen. Aan de hand van de gevolgschade wordt bepaald welke veiligheidsklasse van toepassing is op het boezemkadevak (Figuur A.4). Meer schade resulteert in een hoger veiligheidsklasse. Als de resulterende veiligheidsklasse verschilt van veiligheidsklasse III, wordt een nieuwe berekening gemaakt met de hydraulische belasting die hoort bij de gevonden veiligheidsklasse. Dit proces wordt herhaald totdat de resulterende veiligheidsklasse overeenkomt met de veiligheidsklasse van de gebruikte hydraulische belasting. In Nederland heeft het overgrote deel van de regionale keringen een norm van 1/100 (of veiligheidsklasse III).

OVERSCHRIJDINGSKANSNORM PER VEILIGHEIDSKLASSE, NA AANPASSING PRIJSPEIL

Veiligheidsklasse	Directe economische gevolgschade [M€, prijspeil 2019]	Overschrijdingskansnorm [1/jaar]
I	< 12,5	1/10
II	12,5 – 40	1/30
III	40 – 125	1/100
IV	125 – 400	1/300
V	> 400	1/1.000

Figuur A.4 Overschrijdingskansnorm per veiligheidsklasse (prijspeil 2019), uit STOWA (2020)

A.3 Waterveiligheidsnormen

In 2017 zijn nieuwe normen voor de primaire waterkeringen in de Waterwet verankerd. In 2050 moeten alle waterkeringen aan deze nieuwe normen voldoen. Deze normen beschrijven de maximaal toelaatbare overstromingskansen⁸ van de keringen. De nieuwe normen zijn tot stand gekomen op basis van risicoberekeningen: de normen hebben betrekking op de kans op een overstroming van het achterland, en worden dus bepaald door de verwachte gevolgen van zo'n overstroming. Daarnaast hangen ze af van de kosten die gemaakt moeten worden om de kans op overstroming te verkleinen. De normhoogten zijn zo bepaald dat:

- Iedere locatie in Nederland achter een primaire kering voldoet aan een eis voor het basisbeschermingsniveau (een Lokaal Individueel Risico kleiner dan 10-5 per jaar);
- Extra bescherming wordt gegeven bij kans op grote aantallen slachtoffers en/of grote economische schade, en/of ernstige schade door uitval van infrastructuur van nationaal belang ('vitaal en kwetsbaar').

De kosten van dijkversterking zijn bepaald op basis van kennis over de kering en ondergrond, de statistiek van de waterstanden en golfhoogtes, bepalende faalmechanismen, en ruimte rond de kering. De gevolgen zijn bepaald op basis van overstromingssimulaties en schade- en slachtofferberekeningen. De hierbij gebruikte modellen zijn meestal Sobek1D2D modellen specifiek ontwikkeld voor overstromingen. De sturing van het regionale systeem en drainage is daar meestal niet gedetailleerd in meegenomen, omdat dat niet vereist is voor het doel van deze simulaties. Informatie over het leeglopen van het gebied en de duur van een overstroming is niet vereist voor dit traject en ook niet bepaald.

Meer informatie is te vinden in Slotjes & Van der Most (2016).

⁸ Met overstromingskansen van de kering wordt in de Waterwet bedoeld: de kans op een overstroming van het gebied achter de kering met potentiële slachtoffers en substantiële schade.

A.4 Riolering

In het algemeen worden rioleringen ontworpen op basis van een maatgevende bui waarbij maximaal eens in de 2 of eens in de 10 jaar water op straat kan komen te staan. Er zijn zowel gemengde als gescheiden rioolstelsels. Bij gescheiden rioolstelsels wordt de neerslag afvoerd naar watergangen in de buurt. Bij gemengde rioolstelsels wordt zowel het afvalwater als het regenwater op verhard gebied afgevoerd naar het rioolstelsel. Bij intensieve buien zal een klein deel op straat worden geborgen (2 mm) een deel naar de zuivering worden gepompt, een deel geborgen in het rioolsysteem en eventueel een deel ongezuiverd overstorten naar het oppervlaktewater. Met name bij zeer intensieve buien kan wateroverlast ontstaan. Ook wanneer overstorten verdrinken doordat de waterpeilen in het ontvangende water erg hoog worden, kan het functioneren van het rioolsysteem afnemen. De precieze eisen aan rioolsystemen variëren per gemeente en zijn vastgelegd in rioleringsplannen.

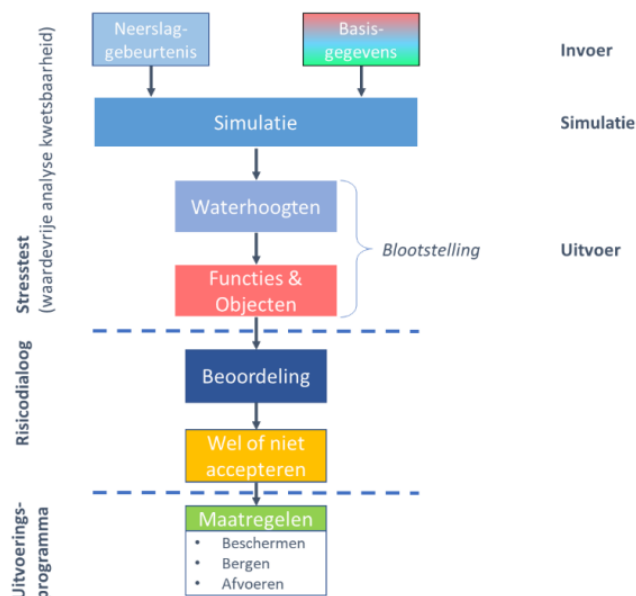
De leidraad riolering van Stichting Rioned geeft 10 ontwerpbuïen waarvan bui08 en bui10 met een duur van een uur waarin de maximale neerslag in 15 minuten een herhalingstijd heeft van respectievelijk 2 en 10 jaar min of meer de Nederlandse standaard geworden zijn om de hydraulische capaciteit van rioolstelsel te beoordelen (bron: [Bui01 - Bui10 - RIONED \(riool.net\)](#)). In bui 08 valt er 19.8 mm in een uur en in bui10 is dit 35.7 mm. Gedurende de bui zijn er periodes van 5 minuten met zeer intensieve neerslag waarin de neerslagintensiteit maar liefst 110 respectievelijk 210 mm/uur bedraagt.



Figuur A.5 Schematisch beeld van rioleringsstelsel (bron: [riool_1_www_onswater_nl.jpg \(743x766\) \(joostdevree.nl\)](#)).

A.5 DPRA stresstesten

De DPRA (Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie) stresstesten worden vaak per gemeente uitgevoerd. De stresstest zelf bestaat uit een simulatie van neerslaggebeurtenissen die leidt tot een beeld van de wateroverlast en het bepalen van het effect op functies en objecten. In het traject van de DPRA stresstesten worden deze stresstesten vervolgens beoordeeld in een risicodialoog en wordt bezien of maatregelen nodig zijn. Vervolgens worden deze maatregelen uitgevoerd. Maatregeltypes die genoemd zijn in de bijsluiter (STOWA, 2020) zijn: beschermen, bergen, of afvoeren. Er zijn binnen DPRA bewust geen standaarden vastgesteld voor acceptabele gevolgen. De acceptatie van gevolgen verschilt dus per gebied en is bijvoorbeeld afhankelijk van de mogelijkheden om maatregelen te kunnen nemen.



Figuur A.6 Weergave van de onderdelen van de stresstesten (bron: STOWA, 2020).

Er zijn standaarden voorgesteld in de bijsluiter voor het weergeven van de blootstelling voor wateroverlast, om deze in Nederland zo uniform mogelijk te maken en te kunnen vergelijken. Deze bijsluiter is (nog) niet door alle gemeentes gevolgd.

In de bijsluiter worden een aantal standaard neerslaggebeurtenissen voorgesteld voor de analyse. Korte buien duren 1 of 2 uur, en lange buien 48 uur. Korte buien zijn vooral van belang voor de stresstest van stedelijk gebied en riolering, terwijl lange buien vooral belangrijk zijn voor het landelijk gebied. Er is uitgegaan van een constante neerslag in de tijd.

Tabel A.1 Overzicht standaard neerslaggebeurtenissen (bron: Tabel 5 uit STOWA 2020).

Schaal	Duur	Hoeveelheid [mm]	Herhalings-tijd [jaar]				Initiële condities
			huidig klimaat	2030	2050	2085	
Lokaal	1 uur	70	200	150	100	57	
		90	500	370	250	140	
	2 uur	155	>1000	>1000	1000	580	
Regionaal	48 uur	129	270	180	100	50	GG
		129	270	180	100	50	GHG
		149	720	460	250	130	GG
		184	>1000	>1000	1000	450	GG

A.6 Richtlijn Overstromingsrisico's (ROR)

De Europese Richtlijn Overstromingsrisico's (ROR) heeft als doel om een raamwerk te creëren, zowel op nationaal als internationaal niveau, voor het evalueren en managen van overstromingsrisico's. Dit om nadelige effecten van overstromingen binnen de EU op aspecten zoals menselijke gezondheid, milieu, cultureel erfgoed en economie te beperken.

De ROR legt lidstaten op om informatie te verzamelen, overleg te voeren en plannen te ontwikkelen voor zowel nationaal als grensoverschrijdend beheer van overstromingsrisico's. Lidstaten moeten passende maatregelen nemen en het publiek informeren over mogelijke overstromingsrisico's. Deze maatregelen moeten worden afgestemd en gecoördineerd tussen verschillende lidstaten.

De ROR kent een 6-jarige cyclus waarbinnen elke lidstaat drie producten dient uit te voeren:

- Het verrichten van een Voorlopige OverstromingsRisicoBeoordeling (VORB) en het op basis hiervan aanwijzen van Gebieden met een Potentieel Significant OverstromingsRisico (GPSOR);
- Het opstellen van overstromingsgevaar-en overstromingsrisicokaarten voor de aangewezen gebieden;
- Het maken van overstromingsrisicobeheerplannen (ORBP) voor deze gebieden.

Momenteel bevindt de ROR in haar derde cyclus (ROR3) waarin gewerkt wordt aan de actualisatie van de hierboven genoemde producten. Zo zijn de overstromingsgevaar- en overstromingsrisicokaarten verbeterde en geactualiseerde versies van eerder gemaakte kaarten, aangevuld met informatie over regionale wateren. Sinds december 2019 zijn de kaarten beschikbaar via de website www.risicokaart.nl.

De Nederlandse aanpak

Voorlopige overstromingsrisicobeoordeling (VORB): Om een risicobeoordeling uit te voeren is er uitgegaan van vier typen gebieden (zie Figuur 2.1 in Slager (2019)):

- A. Onbeschermd gebied langs het hoofdwatersysteem. Zij kennen een grote kans op overstromingen, met kleine gevolgen.
- B. Tegen overstromingen uit het hoofdwatersysteem beschermd gebied. De overstromingskans is kleiner dan eens in de 200 jaar, maar de gevolgen zijn groot.
- C. Tegen overstromingen uit het regionale watersysteem beschermd gebied. De overstromingskans is middelgroot tot klein en de gevolgen zijn groter dan in de A gebieden.
- D. Onbeschermd gebied langs het regionale watersysteem. De gevolgen van overstromingen zijn in de meeste gevallen beperkt en de kans op slachtoffers is nihil. Enkele beken vormen hierop een uitzondering.

In ROR2 hanteerde Nederland de volgende definitie om potentieel significante risico gebieden aan te wijzen: "er is sprake van potentieel significant overstromingsrisico als zich bij een overstroming één of meer dodelijke slachtoffers voordoet en/of de economische schade meer dan € 40 miljoen bedraagt." (HelpdeskWater, 2023⁹). Nederland heeft in ROR2 de volgende gebieden met een potentieel significant overstromingsrisico (GPSOR) aangewezen:

- Beschermd én onbeschermd gebied langs het hoofdwatersysteem.
- Beschermd gebied langs het regionale watersysteem die beschermd worden door keringen die een kleinere kans op overstroom moeten hebben van eens in de 100 jaar (de zgn. IPO-klasse III, IV, en V) en alle rijkskanaaldijken.
- Onbeschermd gebied langs vier regionale wateren in het stroomgebied van de Maas: Geul, Gulp, Roer en Geleenbeek; en één langs regionaal water in het stroomgebied van de Rijn: Linge.
- Ten behoeve van internationale afstemming zijn een aantal grensoverschrijdende wateren aangewezen: Het gaat om acht onbedijkte regionale wateren in het stroomgebied van de Maas (Uffelse Beek, Thornerbeek, Jeker, Voer, Worm, Roode Beek, Kitschbach, Niers) en zeven in het stroomgebied van de Rijn (Oude IJssel, Aastrang, Boven Slinge, Beuzerbeek, Berkel, Buursebeek en Dinkel).

⁹ Bron: <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/europese-richtlijn-overstromingsrisico/voorlopige-overstromingsrisicobeoordeling/>

Opstellen van overstromingsgevaar-en overstromingsrisicokaarten

In Nederland worden er in de ROR-kaarten vier overstromingstypen meegenomen:

- A. Overstroming van onbeschermd gebied (uiterwaarden etc.) langs het hoofdwatersysteem;
- B. Overstroming van beschermd gebied langs het hoofdwatersysteem, door het overlopen of bezwijken van primaire waterkeringen;
- C. Overstroming van beschermd gebied langs het regionale watersysteem, door het overlopen of bezwijken van regionale waterkeringen; en
- D. Overstroming van onbeschermd gebied vanuit het regionale oppervlaktewatersysteem.

In ROR3 wordt voor het eerst ook overstroming door intense neerslag meegenomen.

Per overstromingstype wordt er dan een kaartenset gemaakt bestaande uit vier scenario's (Slager, 2019):

- grote kans op overstromingen, indien van toepassing (groter dan 1/10 per jaar);
- middelgrote kans op overstromingen (groter dan 1/100 per jaar);
- kleine kans op overstromingen (groter dan 1/1.000 per jaar)
- scenario's van buitengewone gebeurtenissen (kleiner dan 1/1000 per jaar)

Voor elk van deze scenario's dienen de volgende gegevens te worden vermeld:

- de omvang van de overstroming;
- de waterdiepte, of indien van toepassing, het waterniveau;
- de stroomsnelheid of het betrokken waterdebiet, indien van toepassing.

Zie Tabel A.2 voor een overzicht van de verschillende kaartensets die binnen de ROR worden gemaakt.

De hierboven genoemde overstromingsscenario's kunnen met behulp van verschillende hydraulische modellen gesimuleerd worden afhankelijk van welk modeltype beschikbaar is voor de regio. Modeltypes kunnen zijn: Bakjes modellen (0D), 1D modellen, 1D2D modellen, 2D modellen. De scenario's worden aangeleverd door de regio. Vervolgens worden na controle de kaarten toegevoegd aan de Landelijke Database Overstromingen (LDO).

Tabel A.2 Overzicht van 4 sets met overstromingsgevaar-en gevolgenkaarten voor de ROR. Bron: Slager (2019).

		KAART 1	KAART 2	KAART 3	KAART 4
Bedreiging door	Hoogwaterstand	Grote kans	Middelgrote kans	Kleine kans	Scenario's van buitengewone gebeurtenissen
		Kans orde grootte 1/10 per jaar	Kans orde grootte 1/100 per jaar	Kans orde grootte 1/1.000 per jaar	Onwaarschijnlijk
		Kans groter dan 1/30 per jaar	Kansen vanaf 1/300 t/m 1/30 per jaar	Kansen vanaf 1/3.000 t/m 1/300 per jaar	Maximaal beschikbaar scenario
Bedreigd gebied	Onbeschermd regionaal (type D)	Overstromingsdiepten met overschrijdingskans 1/10 per jaar	Overstromingsdiepten met overschrijdingskans 1/100 per jaar	Overstromingsdiepten met overschrijdingskans 1/1000 per jaar	Zelfde als kaart 3
	Onbeschermd Hoofd (type A)	Overstromingsdiepten met overschrijdingskans 1/10 per jaar	Overstromingsdiepten met overschrijdingskans 1/100 per jaar	Overstromingsdiepten met overschrijdingskans 1/1000 per jaar	Overstromingsdiepten met overschrijdingskans 1/10.000 per jaar
	Beschermd regionaal (type C)*		Overstromingsdiepten achter regionale keringen met norm** groter dan 1/300 per jaar	Overstromingsdiepten achter regionale keringen met norm** groter dan 1/3000 per jaar	Overstromingsdiepten achter regionale keringen – maximale omvang potentieel overstroombaar gebied
	Beschermd Hoofd (type B)	Niet van toepassing	Overstromingsdiepten achter primaire keringen met doorbraakkans groter dan 1/300 per jaar	Overstromingsdiepten achter primaire keringen met doorbraakkans groter dan 1/3000 per jaar	Overstromingsdiepten achter alle primaire keringen – o.b.v. alle beschikbare overstromings-scenario's

B Beknopt overzicht van bestaande watersysteemmodellen gemaakt voor verschillende doelen

Er zijn al veel watersysteemmodellen beschikbaar. Deze zijn gemaakt voor:

- *Het bepalen van wateroverlast t.b.v. de wateroverlastnormen zoals vastgelegd in de provinciale verordeningen:* Dit zijn vaak gedetailleerde modellen voor een klein deelgebied waarin de samenhang met het grotere systeem niet is beschouwd;
- *Het ontwerpen en toetsen van regionale keringen:* dit zijn vaak boezemmodellen of modellen van de hoofdwaterlopen in 1D (lijnweergave) waarin de focus ligt op de watergangen
- *Operationeel beheer van met name de grotere waterlopen of boezems en gemalen:* Dit zijn veelal 1D modellen (lijnmodellen vaak in combinatie met bakjes) met de focus op het goed inschatten van waterstanden in de grotere waterlopen.
- *Het geven van overstromingsbeeld voor doorbraken van regionale keringen:* dit zijn 2D modellen (ruimtelijke modellen) waarbij de focus ligt op het bepalen van de maximale waterdiepte door een overstroming. Er is minder nadruk op het drainage en afwateringssysteem. Deze modellen zijn meestal niet geschikt om de duur van hoogwater/wateroverlast te bepalen of om wateroverlast of overstroming door neerslag te berekenen.
- *Het geven van een overstromingsbeeld voor doorbraken van primaire keringen:* Dit zijn 1D2D modellen gericht op het bepalen van de maximale waterdiepte, stijgsnelheid en stroomsnelheid in een groot gebied passend bij de doorbraak van een kering langs het hoofdwatersysteem. Deze modellen zijn niet geschikt voor het modelleren van neerslag.
- *Voor stedelijk wateroverlast zijn er enkele gekoppelde oppervlaktewater-rioolmodellen.* Veel gemeentes hebben zelf gedetailleerde rioolmodellen.

Ook zijn er voor DPRA stresstesten in sommige gebieden nog modellen of modules gemaakt, zoals modellen met afstroming over maaiveld zonder rekening te houden met het watersysteem. In het algemeen bevatten de in DPRA stresstest gebruikte modellen het lokale maaiveld op gedetailleerde wijze, maar is het rioolsysteem of watersysteem niet meegenomen. Dit maakt ze meer geschikt voor hele extreme kortdurende neerslag dan voor grootschalige minder intensieve neerslagevents, zoals die waar deze bovenregionale stresstesten naar kijken.

Tabel B.1 Modeloverzicht op hoofdlijnen met voor- en nadelen bij modellering grootschalige wateroverlast.

Doel	Type model iha	Voordelen	Beperkingen
Analyse t.b.v. Wateroverlastnormen* (geeft % polder dat inundeert bij ontwerpbui)	Kleinschalig detailmodel, soms 0D (0D = bakjesbenadering), soms 2D	Detailniveau vaak hoog	Geen samenhang met totale systeem, veel kleine losse modellen per subgebied
Bepalen hydraulische belasting voor regionale kades	Vaak 1D met focus op hoofdwatersysteem, soms 0D-1D (bijvoorbeeld SOBEK RR-CF)	Watersysteem en samenhang met buitenwater goed meegenomen.	Voor bepaling van waterdieptes op maaiveld is vaak analyse nodig, vereenvoudiging in steden, vaak niet bedoeld voor bovennormatieve gebeurtenissen waardoor waterstanden tot boven kades kunnen stijgen.
Operationeel beheer kunstwerken/systeem	Vaak 0D-1D met focus op hoofdwatersysteem.	Watersysteem goed meegenomen, ook vertaling neerslag naar waterstanden in watersysteem goed, duur hoogwater te bepalen	
Overstromingen door doorbraken van keringen langs regionale en of primaire waterlopen	Vaak 1D2D of 2D, vaak oppervlaktewaterstroming, geen hydrologische processen*	Overstromingsverloop bij doorbraak of vanuit waterloop goed gerepresenteerd	Gaat uit van hoge waterstand en vaak van een bres. Niet direct geschikt voor neerslagmodellering, niet geschikt voor bepalen interactie tussen watersystemen, voor afvoeren in regionale waterlopen, niet voor bepalen leegloop
DPRA stresstesten	Grote verschillen tussen testen, soms waterschijf m.b.v. hoogtemodel verspreid op land, soms "regen op grid" modellering, soms met riolering of andere modellen	Doel is maximaal waterdieptebeeld bij korte heftige bui waarbij watersysteemgedrag minder belangrijk is	i.h.a. watersysteemgedrag verwaarloosd, soms is riolering meegenomen.
Stedelijk wateroverlast/riolering	Modellen van het rioleringssysteem met het buitenwater als randvoorwaarde (vooral bij gemeentes)	Geeft beeld van locaties met overlast in stad bij neerslag uitgaande van bepaalde waterstanden in het oppervlakte-watersysteem.	Klein gebied, watersysteem niet meegenomen, alleen als randvoorwaarde

**Met hydrologische processen wordt hier bedoeld: neerslag en de vertaling naar verdamping, infiltratie, berging, snelle en langzame afvoer, grondwaterstroming etc.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl