



NOTITIE

Betreft Standaarden voor de stresstest wateroverlast (*herzien o.b.v. nieuwe neerslagstatistiek 2019*)
Datum 7 april 2020

Inleiding

In 2018 is gewerkt aan de standaarden voor de stresstest wateroverlast. Het ministerie van I&W, STOWA en Stichting RIONED hebben dit gezamenlijk opgepakt. In een viertal werkgroepen is gewerkt aan een voorstel voor de standaarden voor de stresstest wateroverlast. De werkgroepen richten zich op de volgende aspecten:

- a) Neerslaggebeurtenissen
- b) Basisgegevens
- c) Uitgangspunten simulatie waterdiepten
- d) Uitvoer en kwetsbaarheid (blootstelling)

De samenstellingen van de werkgroepen is opgenomen in bijlage 1.

Deze notitie gaat in op de uitgewerkte standaarden. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen een standaard als *minimumeis* voor het uitvoeren van een stresstest wateroverlast en een *werkwijze* die in de praktijk kan worden toegepast. Deze notitie is verwerkt in de handreiking die op website: www.ruimtelijkeadaptatie.nl is gepubliceerd. In de handreiking zijn ook standaarden opgenomen voor de thema's droogte, hitte en gevolgbepierking overstromingen.

Standaarden stresstest wateroverlast

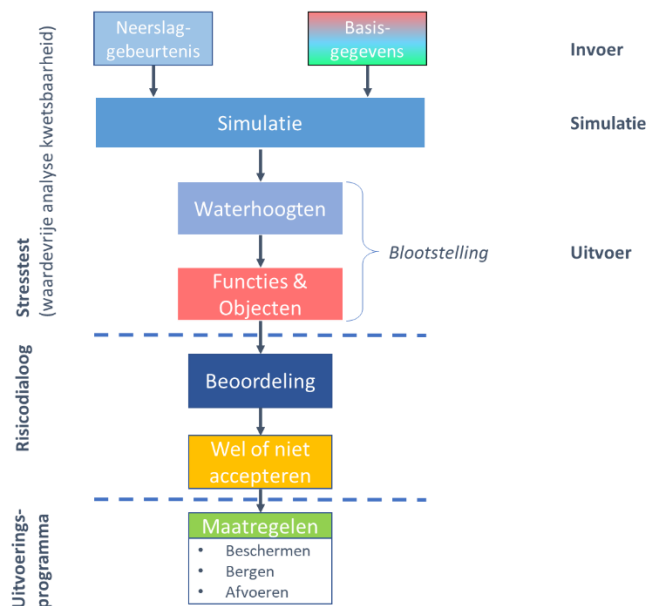
De ambities van het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie (DPRA, 2017) zijn bedoeld om de negatieve gevolgen van klimaatverandering inzichtelijk te maken en vervolgens te komen tot een bewuste afweging over het al dan niet accepteren van wateroverlast / schade en een aanpak om met negatieve gevolgen om te gaan. Wie welke maatregelen uitvoert, wordt gezamenlijk met gebiedspartners (inwoners, bedrijven, overheden) bepaald op basis van een risicodialoog en uitvoeringsagenda.

De doelstelling van de standaarden voor de stresstest is volgens het DPRA tweeledig:

- Het in beeld brengen van de kwetsbaarheid van de leefomgeving voor wateroverlast, droogte, hitte en de gevolgen van overstromingen;
- Het vergroten van de vergelijkbaarheid van de kwetsbaarheid tussen gebieden.

Het Deltaplan RA geeft expliciet aan dat de stresstest zich moet richten op stedelijk en landelijk gebied. De interactie tussen de deelsystemen van de bebouwde kom (riolering, stedelijk water en maaiveld) en het regionaal systeem (regionaal water en maaiveld) is een belangrijke schakel bij het functioneren van de deelsystemen bij extreme gebeurtenissen.

De stresstest wateroverlast bestaat uit een aantal onderdelen. Figuur 1 schetst de onderdelen van de stresstest en de relatie met de risicodialoog.



Figuur 1. Schematisatie van de onderdelen van de stresstest.

De stresstest richt zich op het in beeld brengen van de kwetsbaarheid (bloomstelling) voor wateroverlast. In de risicodialoog vindt een beoordeling plaats van de gevolgen van wateroverlast. Het kan noodzakelijk zijn om in het kader van de risicodialoog nadere en meer gedetailleerde analyses uit te voeren.

Het onderscheid tussen de stresstest en risicodialoog zal in de praktijk minder scherp zijn dan in figuur 1 is aangegeven. In de praktijk zijn stresstest, risicodialoog en uitvoeringsprogramma niet altijd te onderscheiden als afzonderlijke stappen. Bij bouwprojecten, groot onderhoud van infrastructuur of rioolvervanging kunnen op momenten dat die zich voordoen relatief eenvoudige klimaatadaptieve maatregelen worden genomen. De stresstest, risicodialoog en het uitvoeringsprogramma worden dan gecombineerd toegepast in het ontwerp / planproces van een project.

Bij de uitwerking van de standaarden voor de stresstest hebben de werkgroepen zich nadrukkelijk gericht op een waarde vrije analyse van kwetsbaarheid (bloomstelling). Er vindt dus geen standaardisatie plaats van de gevolgen van wateroverlast en of de mate waarin de gevolgen acceptabel zijn.

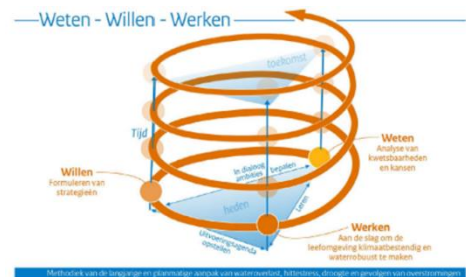
Bij de standaarden ligt de nadruk op de deelsystemen maaiveld, riolering en het oppervlaktewater. De standaarden voor de stresstest sluiten aan bij bestaande "standaarden", zoals de Kennisbank van Stichting RIONED, de werkwijze bij de NBW-toetsing van de waterschappen en gaat uit van het vakmanschap van de modelleur, beheerder en opdrachtgever.

Leren en verbeteren

In het Deltaplan Ruimtelijk Adaptatie (2017) is opgenomen dat gemeenten en waterschappen (voor zover dat nog niet is gebeurd) in 2019 de kwetsbaarheid voor extreme neerslaggebeurtenissen in beeld brengen met een stresstest.

De stresstesten worden vervolgens iedere 6 jaar herhaald. Hiermee ontstaat een traject van leren en verbeteren voor het uitvoeren van stresstesten (zie figuur 2). Met de standaarden en voorgestelde werkwijze wordt een bijdrage geleverd aan dit traject.

Figuur 2. Leren en verbeteren in een 6-jarige cyclus van stresstest en risicodialoog.



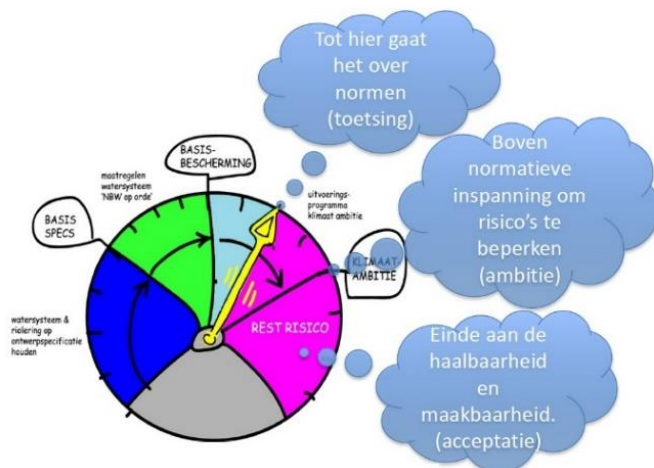
Leeswijzer

Deze notitie richt zich op de vraag welke standaarden noodzakelijk zijn om de kwetsbaarheid (blootstelling) voor wateroverlast op een vergelijkbare wijze in beeld te brengen. De notitie bestaat uit 4 samenhangende onderdelen. Onderdeel A van de notitie beschrijft de standaarden voor neerslaggebeurtenissen. Onderdeel B beschrijft de standaarden voor de basisgegevens. Vervolgens gaat onderdeel C in op de uitgangspunten en randvoorwaarden voor de simulatie van waterdiepten. Onderdeel D tenslotte beschrijft de standaarden voor de uitvoer van de stresstest.

Onderdeel A: Neerslaggebeurtenissen

Stresstest is bovennormatief

De stresstest wateroverlast richt zich op de gevolgen van (alle vormen van) wateroverlast bij extreme omstandigheden. In de stresstest wordt het "systeem" onder druk (stress) gezet, zodat inzicht ontstaat in a) het functioneren van het systeem onder extreme omstandigheden, b) in hoeverre onderdelen van het systeem zullen falen en c) welke gevolgen dat falen heeft in termen van blootstelling van functies en objecten.



Figuur 3: Illustratie (ontwerp)normen, klimaatambities en restrisico's (Wetterskip Fryslan)

De afgeleide standaard neerslaggebeurtenissen voor de stresstest wateroverlast zijn uitsluitend bedoeld om de kwetsbaarheid (blootstelling) van gebieden, functies en objecten in beeld te brengen en niet als (ontwerp)norm om systemen op te dimensioneren. De maatregelen die in gebieden zullen worden genomen, komen voort uit de gezamenlijke "klimaatambitie" in gebieden. De DPRAA-ambities zijn dus niet bedoeld om aan te geven tot waar de zorgplichten van de overheden liggen of om te komen tot nieuwe (ontwerp)normen.

Met de uitvoering van de stresstest blijven voornamelijk de NBW-normen¹ en ontwerpnormen voor riolering bestaan. Dat betekent dat bestaande normen en de boven normatieve aanpak van de stresstest dus naast elkaar bestaan. Beide met een eigen specifieke doelstelling.

¹ De NBW-normen zijn in gebiedsprocessen afgeleid en gedifferentieerd naar de belangrijkste functies. De normen zijn vastgelegd in de provinciale milieu- of omgevingsverordening en geven aan tot waar het waterschap verantwoordelijk en aansprakelijk is voor het optreden van schade door wateroverlast door inundatie van het watersysteem.

Varianten neerslaggebeurtenissen

Om de kwetsbaarheid van een gebied in beeld te brengen, is het van belang zowel het stedelijk als het landelijk gebied te beschouwen in de simulatie (onderdeel C). De afvoercapaciteit van de riolering en de mogelijkheden van afstromend regenwater via het maaiveld kunnen worden beïnvloed door het regionaal watersysteem. De mate van beïnvloeding is gebiedsafhankelijk (wel of geen polder, drooglegging, vlak of hellend gebied).

Gezien het verschil in karakter van het stedelijk en landelijk gebied vraagt het testen van de kwetsbaarheid van gebieden om neerslaggebeurtenissen met verschillende intensiteit, duur en gebiedsgrootte.

Werkelijk opgetreden buien of theoretische buien?

Voor de standaardisatie van de stresstest wateroverlast is het van belang om neerslaggebeurtenissen te selecteren, waarmee de kwetsbaarheid (blootstelling) van zowel het stedelijk gebied als de verschillende systemen in het landelijk gebied in beeld wordt gebracht.

Er zijn twee varianten van neerslaggebeurtenissen, die gebruikt kunnen worden als standaard voor de wateroverlast, te weten:

1. Werkelijk opgetreden buien
2. Theoretische piek- en blokbuien

Een *werkelijk opgetreden bui* is daadwerkelijk opgetreden ergens in Nederland (of daarbuiten). Bij de stresstest wordt deze bui toegepast op het te onderzoeken gebied².

Theoretische piek- en blokbuien hebben een theoretische intensiteit en hebben een bepaalde ruimtelijke schaal. Binnen de categorie theoretische buien maken wij onderscheid tussen piekbuien en blokbuien. Piekbuien hebben een hoge intensiteit en korte duur (een of twee uur). Blokbuien beslaan een groot gebied en zijn geschikt om de gevoeligheid van het watersysteem in het landelijke gebied te testen. Daarbij is duur van de bui aanzienlijk langer (meerdere dagen), dan in geval van een piekbui.

Tabel 1 geeft een overzicht van de voor- en nadelen van het toepassen werkelijke en theoretische neerslaggebeurtenissen in de praktijk.

Tabel 1. Voor- en nadelen van werkelijke en theoretische piek- en blokbuien

	Voordelen	Nadelen
Werkelijke buien	<ul style="list-style-type: none">• Voorstelbaar, want echt gebeurd• Ruimtelijke schaal is bekend• Geen discussie over de eigenschappen van de bui, want deze zijn bekend.	<ul style="list-style-type: none">• Niet direct getrapd toepasbaar
Theoretische piek- en blokbuien	<ul style="list-style-type: none">• Eenvoudig en korte rekentijd• Getrapd toepasbaar (inzicht kantelpunt per wijk/gebied)	<ul style="list-style-type: none">• Spreekt minder tot de verbeelding, want theoretisch en niet echt gebeurd• Theoretische gebiedsgrootte

² Een derde variant kan zijn het verhogen van werkelijke buien met een afgeleide factor voor toekomstige klimaateffecten.

Praktijkvoorbeelden

Gemeenten en waterschappen voeren al verschillende vormen van stresstesten uit. Tabel 2 geeft voorbeelden van extreme buien die de afgelopen jaren zijn opgetreden en in de praktijk worden toegepast bij lokale impactanalyses en stresstesten. Tabel 3 geeft voorbeelden van theoretische buien die in de praktijk bij stresstesten worden toegepast.

Tabel 2. Voorbeelden van werkelijke buien die worden toegepast in lokale en regionale stresstesten

Duur	Kort	Lang
Werkelijke bui	Bui Herwijnen (2011) 93 mm in 70 min. Bui Kopenhagen (2011) 150 mm in 120 min. Bui Amsterdam (2014) 90 mm in 120 min. Bui Münster (2014) 220 mm in 90 min.	Bui Achterhoek (2010) 163 mm in 26 uur. De 24-uursom overschreed 100 mm in een gebied van 2100 km ² .

Tabel 3. Voorbeelden van theoretische piek- en blokbuien die in de praktijk worden toegepast.

Duur	1 uur	2 uur	48 uur
Theoretische bui	<ul style="list-style-type: none">• 60, 90 en 120 mm.³• 60 mm.⁴	<ul style="list-style-type: none">• 35, 55 en 80 mm.⁵• 100 mm.⁶• 120 mm.⁶	70, 100 en 130 mm. ⁷

De werkgroep kiest bij de standaardisatie van neerslaggebeurtenissen voor het toepassen van theoretische buien, omdat deze direct getrapd toepasbaar zijn en eenvoudig zijn toe te passen.

³ o.a. klimaatatlas Amstel-, Gooi- en Vechtgebied (15 gemeenten w.o. Amsterdam en waterschap AGV).

⁴ o.a. klimaatatlas Waterpanel Noord, Provincie Zeeland en gemeente Zutphen.

⁵ 'Brede methodiek wateroverlast' van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.

⁶ o.a. klimaatatlas Provincie Zuid-Holland, Hoogheemraadschap van Rijnland, gemeente Alkmaar, en gemeente Purmerend.

Herhalingstijden in een veranderd klimaat

De afgelopen jaren zijn verschillende onderzoeken gedaan naar de kans van voorkomen van extreme neerslaggebeurtenissen in het huidige en toekomstige klimaat. Hieronder volgt een korte samenvatting van de beschikbare neerslagstatistieken die zijn gebruikt bij het afleiden van de standaard neerslaggebeurtenissen (neerslaghoeveelheid en herhalingstijd) voor de stresstest wateroverlast.

Herhalingstijden: van specifieke locatie naar gebieden

De kans op het voorkomen van een extreme neerslaghoeveelheden wordt uitgedrukt in herhalingstijd voor een specifieke plek. In De Bilt valt bijvoorbeeld eens per tien jaar in twaalf uur tijd minstens 46 millimeter neerslag. Een neerslaghoeveelheid van 46 millimeter in twaalf uur tijd heeft dus een herhalingstijd van tien jaar voor dit specifieke KNMI-meetstation. De herhalingstijd voor een specifiek punt betekent echter niet dat deze ook geldt voor een groter gebied.

Onderzoek van radarbeelden over de periode van 2008 tot en met 2016 laat zien dat een uursom van minimaal 60 mm (herhalingstijd circa 100 jaar) op een vierkante kilometer meer dan 70 keer per jaar ergens in Nederland valt. Een bui van meer dan 80 mm valt gemiddeld een kleine 10 keer per jaar. (Bron: KNMI⁷).

Actualisatie meteogegevens voor het waterbeheer (2015)⁸

In dit onderzoek uit 2015 is de langjarige neerslagreeks voor KNMI-meetstation De Bilt gebruikt, waarbij rekening is gehouden met de klimaattrend in Nederland. Voor verschillende herhalingstijden zijn voor neerslaggebeurtenissen met een duur van 2 uur tot 8 dagen de bijbehorende neerslaghoeveelheden afgeleid voor het huidige klimaat (referentiejaar 2014) en voor het toekomstige klimaat op basis van de KNMI'14-klimaatscenario's.

Neerslagstatistieken voor korte duren (2018)⁹

In dit onderzoek uit 2018 zijn de neerslagstatistieken voor korte neerslaggebeurtenissen met duren van 10 minuten tot 2 uur herzien. Deze nieuwe neerslagstatistieken zijn gebaseerd op de 10-minuten neerslagreeksen uit de periode van 2003 tot 2016 van 30 KNMI-meetstations. Deze statistieken gaan tot een neerslagduur van 12 uur en zijn representatief voor het huidige klimaat (d.w.z. het afgelopen decennium). Er zijn voor deze statistieken nog geen neerslaghoeveelheden afgeleid voor het toekomstige klimaat op basis van de KNMI'14-klimaatscenario's. De klimaattrend in de neerslag in Nederland die nu al gaande is zal over 5 à 10 jaar niet meer (volledig) representatief zijn voor het dan geldende klimaat. De referentie statistieken voor het 'huidige klimaat' behoeft elke 5 à 10 jaar een actualisatie.

Uit de neerslagstatistieken blijkt dat bij een vaste herhalingstijd met toenemende duur de neerslaghoeveelheden geleidelijk minder snel toenemen. Met andere woorden, statistisch gezien is de gemiddelde neerslagintensiteit (in mm/uur) het grootst voor de kortste duren, en met de toename van de neerslagduur neemt de gemiddelde neerslagintensiteit af. Het is om die reden lastig om één herhalingstijd te koppelen aan een werkelijk opgetreden neerslaggebeurtenis. Deze kan verschillen met de tijdsduur van de neerslaggebeurtenis.

⁷ Bijdrage KNMI RIONEDdag 2017

<http://www.rioneddag2017.nl/013-extreme-neerslag-komt-veel-vaker-voor/>

⁸ Actualisatie meteogegevens voor waterbeheer 2015 (STOWA 2015, door KNMI en HKV Lijn in Water)

⁹ Nieuwe neerslagstatistiek voor korte tijdsduren, extreme buien zijn extremer geworden (STOWA 2018, door KNMI en HKV Lijn in Water)

Uitbreiding neerslagstatistiek voor korte duren voor RWS-WVL (2018)¹⁰

Op basis van de neerslagstatistieken voor korte duren (2018) heeft het KNMI in opdracht van Rijkswaterstaat neerslagstatistieken uitgerekend voor de zogenaamde 'worst-case' scenario's voor de jaren 2030, 2050 en 2085. Het KNMI gaat hier uit van een plausibele bovengrens consistent met de KNMI'14 klimaatscenario's (temperatuurstijging van 3,5 graden in 2085).

Update neerslagstatistieken voor lange duren en uitbreiding voor korte duren (2019)

Voor de neerslagduren vanaf 24 uur (lange duren) is in opdracht van STOWA een onderzoek uitgevoerd door KNMI en HKV Lijn in Water. In het onderzoek worden consistent met de statistiek voor korte duren uit 2018 neerslaghoeveelheden bij verschillende duren en herhalingstijden afgeleid voor het huidige klimaat. Ook is een doorkijk gegeven voor het toekomstige klimaat o.b.v. de KNMI'14 klimaatscenario's (2030-2050-2085), zowel voor de lange als de korte duren.

In bijlage 2 zijn de belangrijkste resultaten van bovenstaande onderzoeken samengevat.

De stand van de wetenschap over het voorkomen van extreme neerslaggebeurtenissen (kansverdeling) in de toekomst is relatief jong. Met andere woorden: de onzekerheden over het voorkomen van extreme neerslaggebeurtenissen (aard en omvang) in Nederland in de toekomst is relatief groot. Bij het voorstel voor het standaardiseren van extreme neerslaggebeurtenissen van de stresstest wateroverlast is de werkgroep uitgegaan van de op dit moment beschikbare onderzoeksresultaten.

¹⁰ Update neerslagstatistiek korte duren voor RWS-WVL o.b.v. STOWA (KNMI 2018)

Standaard neerslaggebeurtenissen

De werkgroep hanteert de volgende redeneerlijn voor de standaarden van neerslaggebeurtenissen:

- Een getrapte aanpak om verschillende maten van stress in beeld te brengen, uitgaande van herhalingstijden van 100, 250 en 1000 jaar;
- Onderscheid in korte (1 en 2 uur) en lange neerslaggebeurtenissen (48 uur);
- De standaard neerslaggebeurtenissen zijn representatief voor 2050, in verband met de lange levensduur en afschrijvingstermijnen van mogelijke maatregelen;
- Voor de neerslaggebeurtenissen met een lange duur (48 uur) en een herhalingstijd van 100 jaar wordt onderscheid gemaakt tussen een gemiddeld gevuld of vol (grond)watersysteem (initiële condities);
- Bij deze standaard neerslaggebeurtenissen worden de bijbehorende herhalingstijd aangegeven onder het huidige klimaat en het toekomstige klimaat in 2030 en 2085.

Getrapte intensiteit neerslaggebeurtenis

De standaardisatie voorziet in een set van neerslaggebeurtenissen met toenemende intensiteit. Het voordeel van deze getrapte aanpak met verschillende intensiteiten is dat verschillende typen knelpunten (o.a. hydraulisch, falen specifieke voorzieningen, bergingscapaciteit) zichtbaar worden gemaakt. Hiermee ontstaat een groter handelingsperspectief voor preventieve en curatieve maatregelen (calamiteitenzorg).

Duur neerslaggebeurtenis

Om de kwetsbaarheid van een gebied in beeld te brengen, is het van belang zowel het stedelijk als het landelijk gebied mee te nemen in de simulatie. De afvoercapaciteit van de riolering kan worden beïnvloed door het regionaal watersysteem. De mate van beïnvloeding is gebiedsafankelijk (wel of geen polder, drooglegging, vlak of hellend gebied).

Gezien het verschil in karakter van het stedelijk en landelijk gebied vraagt het testen van de kwetsbaarheid (blootstelling) van gebieden om neerslaggebeurtenissen met verschillende intensiteit en duur en gebiedsgrootte. Het systeem in de sterk verharde bebouwde omgeving (dorpen en steden) heeft een korte reactietijd. Hetzelfde geldt voor hellende gebieden (o.a. Limburg) en kleine regionale systemen met beperkte berging (in bodem en watersysteem). Neerslag wordt niet of nauwelijks in de bodem opgenomen en stroomt snel af naar laaggelegen delen. Hiervoor zijn vooral de kortdurende en lokale extreme situaties maatgevend. Het landelijk gebied heeft een langere reactietijd bij neerslaggebeurtenissen. Hier zijn ook de meer langdurige neerslaggebeurtenissen van belang.

Bij korte neerslaggebeurtenissen kiest de werkgroep voor neerslaggebeurtenissen van zowel 1 uur als 2 uur, omdat beide neerslagduren in veel gevallen een ander faalmechanisme opleveren (riolering-maaiveld-watersysteem). Bij een neerslagduur van 1 uur speelt het oppervlaktewatersysteem in dicht bebouwd stedelijk gebied niet altijd een rol (er ontstaat overlast voordat het water het watersysteem bereikt). De stroming over maaiveld en de interactie tussen de riolering en het maaiveld staan centraal. Als de gebeurtenis langer duurt, gaat de interactie tussen riolering en het oppervlaktewatersysteem een steeds belangrijkere rol spelen.

Voor het landelijk gebied kiest de werkgroep om een neerslaggebeurtenis van 48 uur te hanteren. Hierbij staan de afstroming over maaiveld, hoge grondwaterstanden en interactie tussen het watersysteem en het maaiveld centraal.

De intensiteit gedurende een neerslaggebeurtenis van 1, 2 en 48 uur wordt als constant en uniform over het gebied verondersteld. Dat is een sterke vereenvoudiging van de werkelijkheid, maar de werkgroep is van mening dat dit volstaat als standaard, omdat de stresstest wordt uitgevoerd met zowel korte als lange neerslaggebeurtenissen.

Intensiteit klimaat 2050

De standaard neerslaggebeurtenissen zijn representatief voor het jaar 2050. Er is gekozen voor de mijlpaal van 2050, omdat:

- De grote afschrijvingstermijnen en lange levensduur van de maatregelen waarover in de fase van de risicodialoog en het uitvoeringsprogramma een afweging wordt gemaakt. Met andere woorden: als het resultaat van de kwetsbaarheidsanalyse uit de stresstest wordt gebruikt bij investeringsbeslissingen dan is het van belang om bij de dimensionering en het (ruimtelijk) ontwerp rekening te houden met het klimaat dat representatief is voor de levensduur;
- Conform de mijlpaal die in het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie wordt gehanteerd.

De intensiteit van de neerslaggebeurtenissen is gebaseerd op de herhalingstijden in het huidige klimaat, de daaruit volgende intensiteiten en de door het KNMI / HKV Lijn in Water (STOWA 2019 en KNMI 2018) gehanteerde factoren voor de vertaling van het huidige klimaat naar het klimaat van 2050. Bij een neerslaggebeurtenis met een duur van 1 en 2 uur bedraagt de factor voor de toename van intensiteiten voor het klimaat in 2050 t.o.v. 2014 21% (KNMI, 2018). Bij een neerslaggebeurtenis met een duur van 48 uur bedraagt de factor voor de toename van intensiteiten voor het klimaat in 2050 t.o.v. 2014 gemiddeld 15% (STOWA, 2019). Tabel 4 geeft een overzicht van de intensiteiten in het huidige klimaat en het klimaat in 2050. De intensiteiten voor het klimaat van 2050 zijn naar boven afgerond op decimalen.

Tabel 4. Neerslaghoeveelheden voor de standaard neerslaggebeurtenissen met herhalingstijden van 100, 250 en 1000 jaar voor het huidige klimaat en het klimaat in 2050 volgens het worst-case scenario consistent met KNMI'14. (Bron: STOWA, 2015 & 2019, KNMI 2018)

Schaal	Duur	Herhalingstijd huidig klimaat	Hoeveelheid huidig klimaat [mm]	Hoeveelheid klimaat 2050 [mm]	Factor
Lokaal	1 uur	100	58	70	21%
		250	75	90	20%
	2 uur	1000	128	155	21%
Regionaal	48 uur	100	111	129	16%
		250	128	149	16%
		1000	158	184	16%

Gebiedsgrootte

Neerslaggebeurtenissen worden gekenmerkt door ruimtelijke spreiding in intensiteiten. Daarvoor kan gecompenseerd worden met (gebieds)reductiefactoren. De werkgroep stelt voor om vanuit eenduidigheid te kiezen voor een vereenvoudiging bij de standaardisatie van neerslaggebeurtenissen en niet te kiezen voor het toepassen van reductiefactoren.

Dat betekent dat de standaard neerslaggebeurtenis valt over het gehele gebied met de beschreven intensiteit. De consequentie is dat de kans op wateroverlast van met name natuurlijke stroomgebieden / polders groter dan 100 km² voor korte neerslagduren wordt overschat, omdat de neerslaggebeurtenissen in werkelijkheid een kleinere schaal hebben.

Gebiedsreductiefactoren

De neerslaghoeveelheden in tabel 4 zijn afkomstig uit de zogenoemde puntstatistiek. Dat wil zeggen dat de herhalingstijden voor deze hoeveelheden en duren representatief zijn voor een punt of wel voor een individuele locatie, zoals een meetstation. Bij de vertaling van een punt naar een gebied treedt de zogenoemde gebiedsreductie op, dat wil zeggen dat bij een vaste herhalingstijd en duur de hoeveelheid neerslag gemiddeld over een gebied kleiner is dan in een punt in dat gebied. Met andere woorden: als een bui over een gebied trekt dat groter is dan die bui zal de gemiddelde neerslag over dat gebied kleiner zijn dan in een punt in het pad van de bui. Deze gebiedsreductie is voor Nederland voor verschillende gebiedsgroottes afgeleid uit de neerslagradar. Hoe korter de neerslagduur en hoe groter het gebied hoe groter de gebiedsreductiefactor. Voor een neerslagduur van 1 uur is bij een gebiedsgrootte van 10 km² de gebiedsreductiefactor 0,90 (ofwel gemiddeld over het gebied van 10 km² valt er in een uur 10% minder regen dan in willekeurig punt), en bij een gebiedsgrootte van 100 km² is bedraagt deze factor 0,75 (bijna 25% minder dus). Bij een neerslagduur van 48 uur zijn de gebiedsreductiefactoren aanzienlijk kleiner, respectievelijk ongeveer 0,98 en 0,96 voor gebiedsgroottes van respectievelijk 10 en 100 km².

Initiële condities

De kans op wateroverlast in het regionaal watersysteem in het landelijk gebied wordt naast de intensiteit ook bepaald door de mate waarin het systeem gevuld is bij aanvang van de gebeurtenis (initiële condities). De werkgroep stelt voor om bij lange neerslaggebeurtenissen met een herhalingstijd van 250 en 1000 jaar te kiezen voor een initiële condities met een gemiddelde grondwaterstand, waterpeil en afvoer (GG). Bij een herhalingstijd van 100 jaar geldt als initiële conditie, zowel de gemiddelde als de gemiddeld hoogste situatie.

Voor het stedelijk gebied past de werkgroep geen initiële condities toe, omdat het effect hiervan bij korte (extreme) neerslaggebeurtenissen beperkt is.

Een nadere motivatie van het toepassen van initiële condities is opgenomen in onderdeel C.

Overzicht standaard neerslaggebeurtenissen

Tabel 5 geeft een overzicht van de 7 standaard voor de stresstest wateroverlast voor korte en lange duur. Voor iedere neerslaggebeurtenis zijn weergegeven de schaal, duur, hoeveelheid, initiële conditie en de herhalingstijden voor het huidige klimaat en het klimaat volgens een worst-case scenario consistent met de KNMI'14 scenario's voor 2030, 2050 en 2085.

Tabel 5. Overzicht standaard neerslaggebeurtenissen.

Schaal	Duur	Hoeveelheid [mm]	Herhalingstijd [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

Gebruik ook werkelijke buien bij een stresstest

De werkgroep acht het zinvol om bij het uitvoeren van een stresstest ook werkelijke buien te gebruiken. Deze worden niet landelijk gestandaardiseerd, maar de toepassing ervan kan wel in een handleiding worden opgenomen en aanbevolen. Het voordeel van werkelijke buien is dat deze feitelijk hebben plaats gevonden en daarmee herkenbaar zijn en boven elke discussie staan. Bij communicatie met inwoners en bedrijven kan dat meerwaarde hebben. Daarnaast is de exacte intensiteit en gebiedsgrootte bekend.

Werkelijke buien kunnen op verschillende manieren bij een stresstest worden ingezet:

- Als verificatie van de modelsimulatie: een neerslaggebeurtenis die daadwerkelijk in het gebied is opgetreden kan worden gebruikt om de resultaten van de simulatie te vergelijken met metingen en geregistreerde knelpunten. Een echte praktijktoets dus van het modelinstrumentarium.
- Als extreme gebeurtenis die elders in NL (of in het buitenland) heeft plaatsgevonden. Hierbij kunnen bijvoorbeeld de volgende buien worden gebruikt:
 - Herwijnen (2011): 93 mm in 70 minuten
 - Achterhoek / Hupsel (2010): 163 mm in 26 uur. 24-uursom overschreed 100 mm in gebied van 2100 km².

Onderdeel B: Basisgegevens voor de simulatie

Voor de simulatie van waterdiepten zijn verschillende basisgegevens nodig. De kwaliteit van de basisgegevens bepaalt in hoge mate de nauwkeurigheid van de simulatie. Tabel 6 illustreert de basisgegevens die nodig zijn voor de simulatie van waterdiepten voor de deelsystemen maaiveld, riolering en oppervlaktewater.

Tabel 6: Overzicht basisgegevens simulatie waterdiepten

Basisgegevens	Deelsystemen		
	Maaiveld	Riolering	Oppervlaktewater
Belasting	Standaard neerslaggebeurtenissen Werkelijk opgetreden neerslaggebeurtenissen		
Geometrie voorzieningen en deelsystemen	Maaiveldhoogten (AHN) Ligging gebouwen (BAG)	Geometrie: • Leidingen • Putten • Gemalen • Bergingsvoorzieningen • Infiltratievoorzieningen • Afvoerend oppervlak	Geometrie: • Watergangen (A-B-C) • Gemalen • Stuwen • Duikers • Afvoerend oppervlak
Initiële condities		• Droogweerafvoer • Voorvulling	• (Grond)Waterpeilen • Afvoer / Debiet
Modelparameters	• Afstromingsweerstand • Infiltratiecapaciteit	• Stromingsweerstand • Berging • Pompcapaciteit	• Stromingsweerstand • Berging • Gemaalcapaciteit/ schakelpeilen
Interactie riolering -oppervlaktewater		Geometrie: • Riooloverstorten • Regenwater uitlaten • Peilen (buitenwater)	
Interactie grondwater		• Infiltratiecapaciteit bodem, voorzieningen en leidingen • Drainage weerstand voorzieningen en leidingen	• Infiltratie weerstand watergang • Infiltratiecapaciteit bodem • Drainage weerstand watergang
Modelcontrole	• Hoogtemetingen	• Waterstanden • Debieten • Waterbalansen • Frequentie overstortingen/uitlaten • Overgestorte hoeveelheden en -debieten	• Waterpeilen • Debieten • Waterbalansen

Dit onderdeel gaat in op de standaarden voor een aantal basisgegevens.

Maaiveldhoogte

Een nauwkeurige en gedetailleerde hoogtekaart is een belangrijke basis voor stroming van water over maaiveld. Voor informatie over de maaiveldhoogten is de meest recente versie van de AHN (Actueel Hoogtekaart Nederland) de minimeis (standaard). De eerste deelprojecten van AHN3 zijn beschikbaar, maar nog niet landsdekkend. De AHN3 wordt in de periode tot en met 2019 opgebouwd tot een landsdekkende dataset¹¹. Dat betekent dat in 2018 voor sommige gebieden moet worden teruggevallen op de AHN2 uit 2010.

Van de gemeten punten in het hoogtebestand zijn verschillende producten beschikbaar¹²:

- Puntenwolk, waarbij een classificatie is toegepast op de afzonderlijke punten. Ieder punt is toegekend aan een van de volgende klassen: maaiveld, bebouwing, water, kunstwerk of overig.
- AHN3 DSM (Digital Surface Model) is bedoeld als ruw bestand, waarbij alle punten behalve die geclassificeerd als "water" tot een raster zijn samengesteld.
- AHN3 DTM (Digital Terrain Model) is bedoeld als maaiveldbestand, waarbij alle punten geclassificeerd als "maaiveld" tot een raster zijn samengesteld. Punten geclassificeerd in een andere klasse (niet-maaiveld objecten als bomen, gebouwen, bruggen, water en andere objecten) zijn niet meegenomen (witte vlekken of gaten in rasterbestand).

Van het maaiveld onder bijvoorbeeld auto's, bomen, bruggen zijn in AHN geen meetgegevens beschikbaar. Via een GIS-bewerking kunnen deze "gaten" in de gefilterde bestanden (DTM) worden opgevuld door interpolatie op basis van de Inverse Distance Weighted (IDW) methode¹³. Deze interpolatiemethode is gebaseerd op het gewogen gemiddelde van metingen van het maaiveld rondom het gat in AHN.

Aandachtspunten

- Kleine details in de hoogteligging van het maaiveld, zoals de hoogte van verkeersdrempels in wegen, de hoogte van stoepranden en de hoogte van de toegang tot ondergrondse infrastructuur, zoals parkeergarages en metrostations kunnen het verschil maken tussen wel of geen overlast in de bebouwde omgeving. Deze details kunnen niet of te beperkt uit de informatie van AHN worden gehaald;
- Schaduwwerking bij gebouwen kan van invloed zijn op de maaiveldhoogte dichtbij de gevels van gebouwen¹⁴;
- Struiken zijn niet altijd correct gefilterd in de AHN (DTM) bestand. Dat kan ertoe leiden dat grondstroken met struiken als relatief hoge stroken in het maaiveldmodel terugkomen.

¹¹<http://www.ahn.nl/common-nlm/inwinjaren-ahn2--ahn3.html>

¹²<https://www.pdok.nl/nl/ahn3-downloads>

¹³<http://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/analysis/geostatistical-analyst/how-inverse-distance-weighted-interpolation-works.htm>

¹⁴<http://ahn.maps.arcgis.com/apps/Cascade/index.html?appid=75245be5e0384d47856d2b912fc1b7ed>

Standaard (minimumeis)

- Gebruik de meest recente versie van de openbaar beschikbare maaiveldhoogtekaart (AHN-DTM versie 2 of 3), tenzij lokaal nauwkeurigere gegevens voorhanden zijn.
- De maaiveldhoogtekaart (DTM) is aangepast op de volgende punten:
 - Interpolatie van de gaten (het maaiveld onder bomen, struiken, auto's en bruggen/viaducten);
 - Correctie voor gebouwen en kassen;
 - Correctie voor wateroppervlakken;
- Detaillering voor toegangen van ondergrondse infrastructuur (inritten, parkeergarages, metrostations, etc.).
- Actualisatie op basis van fysieke veranderingen die in het gebied hebben plaatsgevonden sinds de AHN is ingemeten (o.a. nieuwbouwlocaties en gebiedsontwikkelingen).

Naast de maaiveldgegevens zijn ook de ligging van gebouwen en het landgebruik van groot belang bij de simulatie van waterdiepten. Gegevens over gebouwen en landgebruik zijn onderdeel van de zogenaamde basisregistraties.

Ligging gebouwen

Informatie over de ligging van gebouwen is relevant voor het verkennen van potentiële schade door wateroverlast en overstromingen (water in gebouwen). De ligging van gebouwen is uniform beschikbaar uit de Basisregistraties Adressen en Gebouwen (BAG). De BAG is onderdeel van het overheidsstelsel van basisregistraties. Hier sluiten wij bij aan. Gemeenten zijn bronhouders van de BAG. Zij zijn verantwoordelijk voor het opnemen van de gegevens in de BAG en voor de kwaliteit ervan.

Aandachtspunten

Om een inschatting te kunnen maken van de gevolgen van een bepaalde waterdiepte voor een gebouw is het van belang om gebouweigenschappen in beeld te brengen. Het gaat om gebouweigenschappen, zoals:

- Functie van gebouw;
- Aanwezigheid souterrains en kelders onder woningen, winkels, bedrijven, musea, etc.;
- Drempelhoogte van een gebouw;
- Aanwezigheid van inritten naar ondergrondse parkeerkelders en fietsenstallingen;
- Aanwezigheid van vitale voorzieningen in kelders of op de begane grond, inclusief de hoogte van kritische elementen.

De informatie over deze gebouweigenschappen is in veel gevallen niet beschikbaar (en geen onderdeel BAG). Er zijn verschillende werkwijzen mogelijk:

- Bij de eerste simulatie van de waterdiepten het signaleren van gebouwen met water tegen de gevel. Vervolgens wordt voor deze "kwetsbare" gebouwen door of samen met de eigenaar bepaald wat de specifieke gebouweigenschappen zijn;
- Per bouwtypologie een vaste waarde bepalen voor de gebouweigenschappen, bijvoorbeeld op basis van bouwjaar, bouwstijl en gebruiksfunctie (te halen uit Basisregistraties Adressen en Gebouwen - BAG). Deze benadering is niet nauwkeurig. Bij voorkeur worden waarden voor gebouweigenschappen zo gekozen dat dit een ongunstig

effect heeft op de kwetsbaarheid van een gebied vergeleken met de realiteit (conservatief). Dit werkt stimulerend op het uitvoeren van nadere inventarisaties.

Landgebruik

Informatie over landgebruik is nodig voor het verkennen van potentiële overlastlocaties. Landgebruiksinformatie is uniform beschikbaar in de Basisregistratie Grootchalige Topografie (BGT) en Basisregistratie Percelen (BRP). Hier sluiten wij bij aan. BGT en BRP worden vier keer per jaar geactualiseerd en zijn daarmee actueel genoeg.

De informatie uit de basisregistraties kan worden aangevuld met lokale informatie over bijvoorbeeld verharding van tuinen, geplande bedrijventerreinen en stadsuitbreidingen.

Detailering kunstwerken

De ruimtelijke inrichting, het gebruik en de hoogte van het maaiveld wordt gebaseerd op de basisregistratie van gebouwen (BAG) en landgebruik (BGT/BRP) en de AHN. Het kan zijn dat er bijzondere kunstwerken aanwezig zijn die zorgen voor waterscheidingen of juist -verbindingen. Het gaat hier bijvoorbeeld om (spoor)viaducten, tunnels, overkappingen tussen gebouwen e.d. Deze kunnen van invloed zijn op de te simuleren waterdiepten en vragen dus specifieke aandacht.

Watersysteem

Het regionaal watersysteem speelt een belangrijke rol bij de gebiedsdekkende stresstest. Waterschappen hebben de relevante gegevens over het watersysteem beschikbaar (zie tabel 6). De ligging van kunstwerken in B- en C-watergangen (o.a. stuwen en duikers) zijn niet opgenomen in de BGT. De beschikbare informatie over de ligging en geometrie van deze kunstwerken is beschikbaar bij waterschappen en/of gemeenten (bij C-watergangen). Zij zijn verantwoordelijk voor deze informatie en kunnen de BGT-informatie hiermee verrijken.

In de praktijk blijken de gegevens van het watersysteem overigens niet altijd volledig en/of voldoende betrouwbaar aanwezig. Dit resulteert in een bepaalde mate van onzekerheid bij de modellering van het watersysteem (zie ook onderdeel C).

Riolering

Het rioolstelsel speelt (met name in de begin- en eindfase van een hevige bui) een rol bij het verlagen van de waterdiepte op straat. Ook kan de riolering grote hoeveelheden water verplaatsen tijdens een situatie met wateroverlast (met name in hellend gebied).

Gemeenten hebben de gegevens over de locatie en geometrie van leidingen en voorzieningen van het rioolstelsel (zie tabel 6) beschikbaar. In de praktijk blijken de gegevens van het watersysteem overigens niet altijd volledig en/of voldoende betrouwbaar aanwezig. Dit resulteert in een bepaalde mate van onzekerheid bij de modellering van het hydraulisch functioneren van de riolering (zie ook onderdeel C).

De mate van detail van de simulatie van waterdiepten in de stresstest en daarmee de benodigde gegevens van de riolering hangt af van de globale (kwalitatieve) systeemanalyse. In de module hydraulisch functioneren van de Kennisbank Stedelijk Waterbeheer (voorheen Leidraad Riolering, C2100) is/wordt in meer detail beschreven welke gegevens in welke situatie noodzakelijk zijn voor de simulatie van het hydraulisch functioneren van de riolering.

Grondwater

Naast de bovengenoemde gegevens kan bij de simulatie van de waterdiepten bij de stresstest wateroverlast ook gebruik worden gemaakt van gegevens van de bodem (grondsoort) en ondergrond. Het gaat hierbij om bodemkaarten, boringen, grondwaterstanden, stijghoogten, geohydrologische lagen (watervoerende pakketten en scheidende lagen) en geotechnische gegevens. Deze gegevens zijn geen onderdeel van een standaard, maar kunnen indien lokaal relevant worden gebruikt. De gegevens zijn openbaar beschikbaar via het DINO-loket¹⁵, GeoTOP¹⁶ en REGIS¹⁷.

De mate van detail van de simulatie van waterdiepten in de stresstest en daarmee de benodigde gegevens van het watersysteem hangt af van de keuzes en resultaten van een globale (kwalitatieve) systeemanalyse. Deze komt aan de orde in onderdeel C.

Standaard (minimumeis)

- Gebruik de Basisregistraties Adressen en Gebouwen (BAG), tenzij nauwkeurigere gegevens voorhanden zijn;
- Gebruik de Basisregistratie Grootchalige Topografie (BGT) en Basisregistratie Percelen (BRP);
- Detailleer deze kaarten in het geval van bijzondere kunstwerken als in potentie sprake is van waterscheidingen en/of -verbindingen. Dit is het geval bij (spoor)viaducten, tunnels, overkappingen tussen gebouwen e.d.;
- Vul deze kaarten in het buitengebied aan met informatie over het watersysteem. En in de bebouwde kom in die gevallen dat watergangen een afvoerende en/of bergende functie hebben bij extreme neerslaggebeurtenissen (zie ook onderdeel B);
- Vul deze informatie in de bebouwde kom aan met informatie over het rioolstelsel. En in het buitengebied in die gevallen dat het rioolstelsel (en interactie met oppervlaktewater) een rol speelt bij extreme neerslaggebeurtenissen (zie ook onderdeel C).

¹⁵ <https://www.dinoloket.nl/>

¹⁶ <https://www.dinoloket.nl/en/geotop-more-detail-upper-50-meters>

¹⁷ <https://www.dinoloket.nl/regis-ii-het-hydrogeologische-model>

Onderdeel C: Uitgangspunten simulatie waterdiepten

Gemeenten en waterschappen hebben geen behoefte aan een standaard instrument voor de uitvoering van de simulatie van de stresstest wateroverlast (geen standaard modelinstrumentarium / software). Zonder een standaard instrument voor te schrijven is het wel mogelijk om de uitgangspunten voor de simulatie van de stresstest te standaardiseren op inhoudelijke en meer procesmatige punten. De standaarden zijn gebaseerd op de minimaal te doorlopen stappen en ruimte voor het vakmanschap van de modelleur, beheerder en opdrachtgever.

De kwaliteit van de resultaten van de simulatie is sterk afhankelijk van de kwaliteit van de modelleur en de kwaliteit van de basisgegevens.

De wijze van het modelleren hangt sterk af van het type gebied, de grootte van het gebied en de eigenschappen van deelsystemen (riolering, watersysteem, grondwater) en het gewenste detailniveau. Het voorstel is om te gaan werken met een aantal standaard te doorlopen stappen. Deze stappen zullen minimaal gezet moeten worden in het simulatieproces. Per stap zal een gemotiveerde keuze moeten worden gemaakt door de modelleur/beheerder.

In de ideale situatie is een simulatie van een stresstest wateroverlast een zo volledig, nauwkeurig en gedetailleerde mogelijke benadering van de werkelijkheid (gekalibreerd en gevalideerd model). Het is nu echter (nog) niet altijd mogelijk om volledig, nauwkeurig en gedetailleerd te zijn, o.a. vanwege de kwaliteit van de beschikbare basisgegevens en het beschikbare budget.

Voor een goede beoordeling van de resultaten van de stresstest is het belangrijk te weten welke aannames en keuzes bij de simulatie van de stresstest zijn gedaan.

Wateroverlast in de praktijk en de relatie met de onderhoudstoestand

Bij de simulatie van de stresstest wateroverlast worden de waterdiepten bij een aantal standaard neerslaggebeurtenissen in beeld gebracht. In de praktijk treedt ook bij minder extreme neerslaggebeurtenissen wateroverlast op. De ervaring leert dat dit in een aantal gevallen te maken heeft met de onderhoudstoestand van het riool- en/of watersysteem (o.a. verstopte uitlaten, duikers, falende pompen/gemalen en plantengroei in watergangen). Met andere woorden: wateroverlast is in de praktijk niet altijd een gevolg van overbelasting, maar ook van de actuele (onderhouds)toestand van het systeem.

Standaard (minimale proces en inhoud)

Stappenplan:

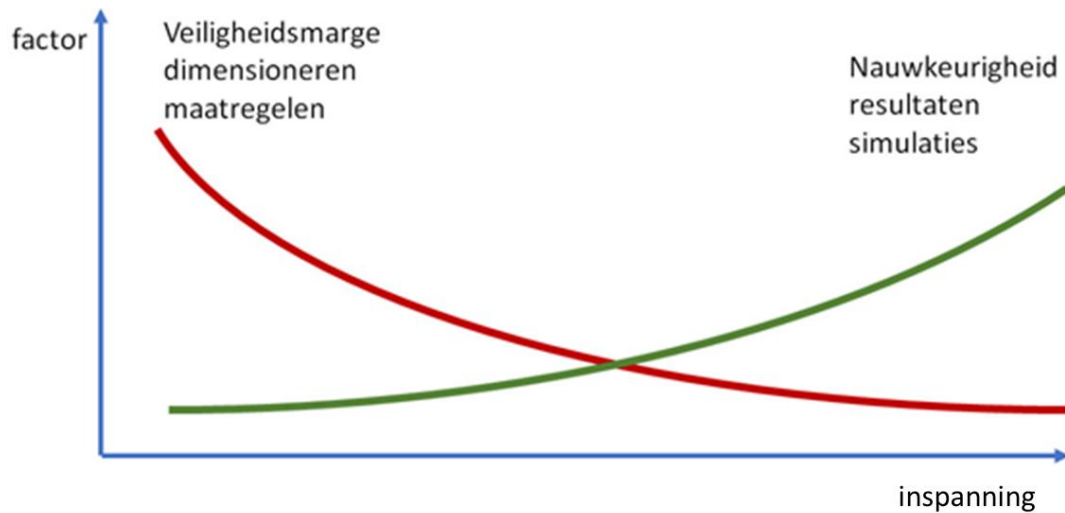
1. Formuleren doelstellingen simulatie waterdiepten
2. Kwalitatieve (globale) systeemanalyse, waarin beargumenteerde keuzes worden gemaakt over de volgende aspecten:
 - Geografische omvang van het te modelleren gebied
 - Functioneren (grond)watersysteem (o.a. afwatering, kwel/infiltratie)
 - Hydraulisch functioneren riolering en interactie oppervlaktewater
 - Effecten opstuwingswind (windopslag)
 - Modelresolutie voor tijd en ruimte
 - Kwaliteit van de basisgegevens
 - Aannames voor ontbrekende gegevensDe doelstellingen en beargumenteerde keuzes worden vastgelegd in een uitgangspuntennotitie.
3. Modelschematisatie en randvoorwaarden. Onderdeel van de simulatie zijn tenminste de deelsystemen:
 - Bebouwde omgeving: waterstroming over het maaiveld en riolering
 - Buiten gebied: waterstroming over het maaiveld en oppervlaktewater
4. Modelcontrole (testen, kalibreren en valideren)
5. Simulatie waterdiepten bij standaard neerslaggebeurtenissen
6. Verantwoording, waarin op transparante wijze wordt toegelicht en beargumenteerd welke keuzes zijn gemaakt en welke aannames zijn gedaan.

Hieronder zijn de stappen toegelicht.

1. Formuleren doelstellingen simulatie

In de praktijk zal de simulatie van waterdiepten bij de stresstest wateroverlast worden gedaan vanuit verschillende doelstellingen. Soms wordt één model gebruikt om dit te doen. In andere gevallen wordt voor elke doelstelling een specifiek model ontwikkeld. Bijvoorbeeld: Een model van een groot grondgebied dat is gericht op bewustwording of globale kwetsbaarheid van wijken. En een ander model voor het ontwerpen en afwegen van maatregelen op straatniveau.

Het is van belang om bij de start van de simulatie duidelijk te zijn over de doelstelling ervan. De doelstelling bepaalt de benodigde mate van detail en nauwkeurigheid van de simulatie (zie figuur 4). In stap 1 wordt een expliciete keuze gemaakt over de doelstelling van de simulatie. De doelstelling vormt de basis van de keuzes die in de volgende stappen worden gemaakt.



Figuur 4: Illustratie relatie tussen nauwkeurigheid simulatie en toepassingsgebied. Hoe nauwkeuriger de simulatie, hoe beter geschikt het is voor het ontwerp van maatregelen (minder veiligheidsmarge).

2. Kwalitatieve (globale) systeemanalyse

Een tweede stap is het uitvoeren van een kwalitatieve en globale systeemanalyse om te bepalen wat de afbakening en het karakter is van het systeem dat moet worden gesimuleerd en de kwaliteit van de gegevens is die worden gebruikt. Bij de systeemanalyse worden tenminste de volgende aspecten beschouwd:

- Geografische omvang van het gebied
- Functioneren (grond)watersysteem (o.a. afwatering, kwel/infiltratie)
- Hydraulisch functioneren riolering en interactie oppervlaktewater
- Effecten opstuwning wind (windopslag)
- Modelresolutie voor tijd en ruimte
- Kwaliteit van de basisgegevens
- Aannames voor ontbrekende gegevens

Het is noodzakelijk om bij de systeemanalyse gebieds- en systeemkenners van gemeente en waterschap te betrekken, zowel van de binnendienst (beheerders, systeembestuurders en hydrologen) als van de buitendienst.

Bij de simulatie van waterdiepten in de bebouwde omgeving is de standaard (minimumeis) om tenminste de deelsystemen *afstroming over het maaiveld* en *riolering* te simuleren. Het gaat hier om de afstroming over zowel het verharde als onverharde deel van het maaiveld. En dus niet alleen dat deel dat afstroomt naar de riolering. Voor riolering geldt hier de leidingen en voorzieningen gericht op de verwerking van regenwater (incl. gemengde riolering). Daarnaast is verstandig om na te gaan wat de invloed is van het oppervlaktewatersysteem (peilverloop). Als deze invloed relevant is voor afstroming over het maaiveld of het functioneren van de riolering, dan zal ook het oppervlaktewater onderdeel moeten zijn van de simulatie.

Voor het buitengebied geldt als minimumeis om tenminste de deelsystemen *afstroming over het maaiveld en oppervlaktewater (regionaal watersysteem)* te simuleren. Daarnaast is verstandig om na te gaan wat de invloed is van de afstroming (via riolering of maaiveld) vanuit de bebouwde omgeving op het watersysteem. Als deze invloed relevant is, dan zal deze afstroming / interactie onderdeel moeten zijn van de simulatie.

Bij extreme neerslaggebeurtenissen kunnen ook geotechnische / grondmechanische faalmechanismen optreden, zoals bijvoorbeeld de instabiliteit van hellingen en kades (bij oververzadiging ondergrond).

Kwaliteit basisgegevens

Naast de kennis en ervaring van de modelleur heeft de kwaliteit van de basisgegevens grote invloed op de kwaliteit van de modelresultaten. Belangrijke aspecten van de basisgegevens zijn o.a.:

- Actualiteit en volledigheid van de maaiveldhoogtekaart (inclusief interpolatie witte vlekken)
- Gebouweigenschappen en bijzondere kunstwerken (o.a. inritten, tunnels (pompen), overkappingen)
- Gegevens rioolstelsel en voorzieningen
- Gegevens watersysteem en kunstwerken
- Modelparameters

Voor al deze gegevens geldt dat sprake kan zijn van fouten en onzekerheden. Deze kunnen direct doorwerken in de modelresultaten. Dat kan in de praktijk leiden tot een onzekerheid in de gesimuleerde waterdiepten van enkele decimeters.

Hydraulisch functioneren riolering

Het rioolstelsel speelt een rol bij het verlagen van de waterdiepte op straat en speelt een rol bij de duur dat een bepaalde waterdiepte optreedt. Ook kan de riolering een rol spelen bij het verplaatsen van grote hoeveelheden water tijdens extreme neerslaggebeurtenissen (met name in hellend gebied). Dat kan naast afstroming via het maaiveld zorgen voor wateroverlast op specifieke plaatsen. Gemeenten hebben de gegevens over de locatie en capaciteit van het rioolstelsel beschikbaar.

Stichting RIONED werkt aan het actualiseren en verdiepen van de module hydraulisch functioneren van de Kennisbank Stedelijk Waterbeheer. In dit traject zullen in overleg met een groep medewerkers van gemeenten, waterschappen, kennisinstellingen en adviesbureaus keuzes worden gemaakt over standaarden voor het simuleren van het hydraulisch functioneren van de riolering in interactie met het maaiveld en regionaal watersysteem.

De ruimtelijke resolutie zal evenredig moeten zijn met de ruimtelijke variabiliteit van de basisgegevens (o.a. maaiveld en de basisregistraties). Dat betekent in de bebouwde omgeving een resolutie van tenminste 1x1 meter. Ook kan een zonering worden opgenomen, waarbij voor de aandachtsgebieden hogere eisen worden gesteld dan in de gebieden hier omheen. De resolutie in de tijd is gerelateerd aan de ruimtelijke resolutie.

(Grond)watersysteem

Ook het regionaal (grond)watersysteem speelt een rol bij de gebiedsdekkende stresstest. Voor de stresstest gaat om het in beeld brengen van:

- de dimensionering van watergangen, stuwen en duikers (met name duikers in watergangen, die een essentiële rol vervullen in het verdelen van water);
- de dimensionering van boezem- en poldergemalen;
- metingen van waterstanden en aan-/afvoerdebieten van het oppervlaktewater.

Ook de bodemgesteldheid en het grondwatersysteem zijn van grote invloed op de resultaten.

Grondwatermodellen hebben als invoergegevens informatie nodig over:

- De bodemgesteldheid, zoals de infiltratiecapaciteit en het waterbergend vermogen. Een eerste inschatting van de bodemgesteldheid kan worden gemaakt op basis van het bodemtype afkomstig uit (landelijke) bodemkaarten. Dit kan worden aangevuld op basis van bodemmetingen en gegevens over het doorlaatvermogen van watervoerende pakketten en weerstanden van scheidende lagen (bijvoorbeeld uit NHI¹⁸ of DINO-loket¹⁹);
- Grondwaterstandsmetingen, bij voorkeur continue registraties, nodig voor kalibratie en validatie.

Het product van de systeemanalyse is een **uitgangspuntennotitie** voor de simulatie. De werkgroep adviseert om transparant te zijn over keuzes en aannames met betrekking tot de simulatie en deze op te nemen in een notitie met uitgangspunten die opdrachtgever en opdrachtnemer gezamenlijk opstellen. Daarbij is het van belang om expliciet de doelstellingen, beargumenteerde keuzes en aannames, de kwaliteit van de gegevens en de foutmarges en onnauwkeurigheid van de simulatieresultaten te benoemen.

3. Modelschematisatie en randvoorwaarden

Bij de stap modelschematisatie gaat het om het daadwerkelijk opbouwen van het model, waarmee de waterdiepten worden gesimuleerd. Hier worden de resultaten van de keuzes die in de systeemanalyse zijn gemaakt, toegepast en keuzes gemaakt over modelconcepten.

Interactie riolering, maaiveld en oppervlaktewater

De interactie tussen riolering, het maaiveldverloop en het oppervlaktewater kan een belangrijke rol spelen bij wateroverlast. Het gaat hier zowel om de interactie als gevolg van afstroming via het maaiveld als lozingen van afvalwater/hemelwater via overstorten en/of regenwateruitlaten.

Het schematiseren van het watersysteem in en rond een gemeente dient in nauw overleg plaats te vinden met specialisten van het waterschap. Het peil van het oppervlaktewater kan het functioneren van overstorten & regenwater uitlaten en daarmee de afvoercapaciteit van de riolering beïnvloeden of zorgen voor het instromen van oppervlaktewater in de riolering.

Het rekenen met een volledige combinatie van het watersysteem en inliggende stedelijke gebieden is (nog) niet overal nodig en mogelijk, omdat de rekenmodellen dan te groot worden. In de module hydraulisch functioneren van de Kennisbank Stedelijk Waterbeheer (voorheen Leidraad Riolering, C2100) wordt een benadering uitgewerkt voor de wijze van het simuleren van de interactie tussen het regionaal watersysteem en het rioolsysteem.

¹⁸ <http://www.nhi.nu/>

¹⁹ <https://www.dinoloket.nl/>

Initiële condities

Een standaard onderdeel van de simulatie van het watersysteem is het toepassen van initiële condities die zijn gekoppeld aan de standaarden voor neerslaggebeurtenissen. De kans op wateroverlast in het regionaal watersysteem in het landelijk gebied wordt naast de intensiteit ook bepaald door de mate waarin het systeem gevuld is bij aanvang van de gebeurtenis (initiële condities). Wanneer het grondwaterpeil en de waterstanden van het oppervlaktewatersysteem (of de afvoer) hoog zijn, dan is de impact van een gebeurtenis groter, dan wanneer er meer bergingsruime beschikbaar is in het grond- en oppervlaktewatersysteem. De werkgroep gericht op standaarden van de neerslaggebeurtenis heeft twee situaties gedefinieerd:

- Gemiddelde grondwaterstand en waterpeil/afvoer (GG, gemiddeld belast systeem)
- Gemiddeld hoogste grondwaterstand en waterpeil/afvoer (GHG, vol systeem)

De werkgroep (neerslaggebeurtenissen) stelt voor om bij lange neerslaggebeurtenissen met een herhalingstijd van 250 en 1000 jaar te kiezen voor een initiële condities met een gemiddelde grondwaterstand, waterpeil en afvoer (GG). Deze gebeurtenissen komen vooralsnog met name in de zomerperiode voor, wanneer de kans op een vol systeem erg klein is. Neerslaggebeurtenissen met een lange duur en herhalingstijd van 100 jaar zijn minder extreem en de kans is groter dat deze ook in het najaar of het voorjaar voorkomen, wanneer het vaak natter is. Daarom hanteert de werkgroep hierbij als initiële conditie, zowel de gemiddelde als de gemiddeld hoogste situatie.

Voor het stedelijk gebied past de werkgroep geen initiële condities toe, omdat het effect hiervan bij korte (extreme) neerslaggebeurtenissen beperkt is.

4. Modelcontrole en gevoeligheidsanalyse

Bij stap 4 staat de controle van de modelschematisatie centraal. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen modeltesten, kalibratie en validatie.

- Het doel van de modeltest is het nagaan of het model in stationaire situatie overeenkomt met de streefpeilen en aan- en afvoerdebieten in het gebied;
- Kalibreren is het optimaliseren van modelparameters aan metingen en andere waarnemingen aan een representatieve gebeurtenis;
- Validatie is het toetsen van de modelresultaten aan een werkelijke situatie, waarbij geldt dat de controlegegevens niet zijn gebruikt voor de modelkalibratie (bijvoorbeeld een specifieke neerslaggebeurtenis).

Een modeltest dient altijd te gebeuren. Een model dient zodanig te zijn gekalibreerd of gevalideerd dat het model goed functioneert in het hele gebied. Deze beoordeling is aan de modelleur en de beheerder.

Voor de stresstest wateroverlast adviseert de werkgroep een gekalibreerd en gevalideerd en oppervlaktewatermodel en een gevalideerd rioolmodel.

Bij de modellering is het valideren van de modeluitkomsten van het gehele gesimuleerde systeem (tenminste maaiveld-riolering-oppervlaktewater) aan een historische extreme neerslaggebeurtenis in het gebied een standaard onderdeel. Dat betekent dat een concrete situatie wordt doorgerekend die in het gebied is opgetreden en dat de uitkomsten worden vergeleken met meetgegevens van het watersysteem, de riolering (o.a. overstortingen) en bekende water-op-sstraat situaties. Hierbij worden ook meldingen van inwoners en bedrijven die bij de gemeente, het waterschap en de brandweer zijn gedaan, betrokken.

Als er in het verleden geen extreme neerslaggebeurtenis in een gebied heeft plaats gevonden, dan is het advies om een zogenaamde plausibiliteitstoets te doen met een theoretische gebeurtenis (bijvoorbeeld een extreme gebeurtenis die elders is opgetreden).

Gevoeligheidsanalyse

De werkgroep adviseert om standaard een gevoeligheidsanalyse uit te voeren als onderdeel van stresstest. Het doel hiervan is om een beeld te krijgen van de mate van betrouwbaarheid van de gesimuleerde waterdiepten. Het gaat hier in hoofdzaak om de aannames die zijn gedaan in de systeemanalyse en modelschematisatie. Ter illustratie kan het gaan om de volgende parameters:

- Ruwheid afstroming over het maaiveld. Het advies is om een bandbreedte van +/- 50% te hanteren;
- Wandruwheid van watergangen is bepalend voor het oppervlaktewatersysteem (wel/niet gemaaid).
- Dimensie en doorstroomcapaciteit duikers
- Initiële condities van het systeem (zie hierboven).
- Infiltratiecapaciteit onverhard oppervlak.

Tabel 7: Modelcontrole per deelsysteem

	Deelsystemen		
	Maaiveld	Riolering	Oppervlaktewater
Modelcontrole	X	X	X
Kalibratie			X
Validatie		X	X
	Gehele systeem, inclusief interactie		
Gevoeligheidsanalyse			
	Gehele systeem, inclusief interactie		

5. Simulatie waterdiepten bij standaard neerslaggebeurtenissen

Op basis van de kalibratie en validatie worden de uitgangspunten en randvoorwaarden van de simulatie vastgesteld en de simulatie van waterdiepten bij de standaard neerslaggebeurtenissen uitgevoerd. De inzichten uit de gevoeligheidsanalyse moeten daarbij tevens worden gebruikt om de onzekerheidsmarge van de berekeningsresultaten te duiden.

6. Verantwoording

De laatste stap bij de simulatie is een verantwoording. In deze stap worden de resultaten van de eerste 5 stappen gerapporteerd en worden de keuzes onderbouwd die tijdens de modellering zijn gemaakt. Voor modellers, beheerders en opdrachtgevers die de resultaten van een stresstest willen beoordelen is het belangrijk om te weten waar de beperkingen zitten, welke essentiële zaken extra zijn gecontroleerd en welke aannames er zijn gedaan.

De verantwoording bevat ook een advies voor het verder verbeteren van het model / de simulatie, zodat de periode van 6 jaar (voordat de volgende stresstest wordt verricht) kan worden benut voor noodzakelijk onderzoek.

Bij de verantwoording van de keuzes die zijn gemaakt kan de lijst die in bijlage 3 is opgenomen worden gebruikt. De lijst is een middel om de kwaliteit van de stresstest te kunnen nagaan en is tevens bedoeld als stimulans om de kwaliteit ervan te verbeteren.

Onderdeel D: Uitvoer simulatie en blootstelling

De kwetsbaarheid is een maat voor het gevolg van het voorkomen van een bepaalde waterdiepte in de leefomgeving en is een combinatie van de blootstelling en het effect daarvan. Het landgebruik en het voorkomen van specifieke functies & objecten bepalen de mate van kwetsbaarheid (o.a. schade als gevolg van water in gebouwen, stremming belangrijke toegangswegen, gewasschade of het uitvallen vitale en kwetsbare functies).

De standaarden van de uitvoer voor de stresstest wateroverlast richten zich op:

1. Waterdiepten in de ruimte (systeembenadering)
2. Waterdiepten in relatie tot functies en objecten (objectbenadering)

Waterdiepten in de ruimte (systeembenadering)

De eerste standaard van de uitvoer van de stresstest wateroverlast is gericht op het systeem en betreft de ruimtelijke gedifferentieerde waterdiepten en de duur van optredende waterdiepten (tot volledig herstel optreden waterdiepten). Hierbij zal een indicatie moeten worden gegeven van de bandbreedte van de nauwkeurigheid.

In hellende gebieden kunnen ook water stroomsnelheden en erosie kritische uitvoerparameters zijn.

Waterdiepten in relatie tot functies en objecten (objectbenadering)

Een tweede standaard richt zich op de blootstelling van functies en objecten aan een bepaalde waterdiepte op een bepaalde plaats. Deze blootstelling is afhankelijk van het landgebruik en het voorkomen van specifieke functies en objecten.

Op basis van de ruimtelijke gedifferentieerde waterdiepte kan de blootstelling van functies en objecten worden bepaald. Het gevolg van de blootstelling wordt bepaald door de kwetsbaarheid van functies en objecten voor bepaalde waterdiepten. De kwetsbaarheid hangt van diverse factoren en kenmerken van deze functies en objecten af. Deze kenmerken zijn niet voor elke specifieke functie en object beschikbaar. Voor een eerste indicatie van de impact van wateroverlast kan de kwetsbaarheid van functies en objecten op vereenvoudigde manieren worden benaderd. De eenvoudigste manier is om de omvang van de blootstelling te kwantificeren. Van grondgebruiksfuncties kan het oppervlak waar een bepaalde waterdiepte op staat worden vastgesteld. Van objecten kan worden vastgesteld of ze worden geraakt door water op het maaiveld.

De blootstelling worden uitgedrukt in:

- Geraakte gebouwen (water tegen de gevel), bijvoorbeeld door kleurcode in kaart
- Water tegen de ingang van ondergrondse bouwconstructies (o.a. parkeergarages metrostation/buizen)²⁰
- Waterdiepte op wegen, spoorwegen, tramlijnen, tunnels e.d.
- Waterdiepte en oppervlak ter plaatse van specifieke (agrarische) grondgebruik functies
- Waterdiepte ter plaatse van specifieke objecten (*zie vitale en kwetsbare functies*)

Uit uitvoer van de stresstest wateroverlast blijkt dus of een object of functie wordt geraakt (t.g.v. bepaalde waterdiepte). Het bepalen of een object faalt of van welke schade sprake is,

²⁰ Idem, sterk afhankelijk van inloophoogte

is een vervolgstap die samen met de eigenaar/beheerder kan worden gezet. Dit is onderdeel van de risicodialoog.

De standaarden voor de uitvoer van de stresstest wateroverlast zijn gericht op waterdiepten en de signaalwaarden voor blootstelling van functies en objecten.

Standaarden (minimumeis)

Stysteemgericht

- Ruimtelijk gedifferentieerde waterdiepten (legendaklasse 5 cm)
- Duur van optredende waterdiepten

Objectgericht

- Signalering van gebouwen die worden geraakt
- Signalering van ondergrondse constructies die worden geraakt (o.a. parkeergarages metrostation/buizen)
- Signalering van wegen, spoorwegen, tramlijnen, tunnels e.d. die worden geraakt (o.a. routes hulpdiensten)
- Signalering van specifieke (agrarische) gebruiksfuncties
- Signalering van specifieke objecten die worden geraakt. Het gaat hier om nationale vitale en kwetsbare functies en lokale functies die door de decentrale overheden (in overleg met gebiedspartners) zelf van belang worden geacht.

Vitale en kwetsbare functies

De werkgroep ziet het als maatschappelijk belang om als overheid de blootstelling bij wateroverlast van vitale en kwetsbare functies inzichtelijk te maken. De eigenaren van specifieke functies en objecten zullen op basis daarvan de eigen verantwoordelijkheid inzien voor de gevolgen van wateroverlast voor henzelf en eventuele keteneffecten. Daar ligt een spanningsveld tussen wat overheid maatschappelijk acceptabel vindt en wat een private partij wil betalen.

De vraag is dan welke functies hiervoor zouden moeten worden onderscheiden en in hoeverre de ligging van deze functies beschikbaar is. Het ligt hierbij voor de hand om aan te sluiten bij de categorieën van vitale en kwetsbare functies. In het deltaprogramma worden voor overstromingen een aantal nationale vitale en kwetsbare functies onderscheiden (tabel 8).

Tabel 8. Overzicht nationale vitale en kwetsbare functies volgens het Deltaprogramma²¹

Vitale en kwetsbare functies	Verantwoordelijk ministerie
1. Energie: (a) elektriciteit; (b) aardgas, (c) olie	Ministerie van Economische Zaken (EZ)
2. Telecom/ICT: (a) basisvoorzieningen voor communicatie t.b.v. respons bij een overstroming (b) publiek netwerk	Ministerie van Veiligheid en Justitie (VenJ) (a) en EZ (b)
3. Waterketen: (a) drinkwater; (b) afvalwater	Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM)
4. Gezondheid	Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS)
5. Keren en beheren oppervlaktewater: gemalen	IenM
6. Transport: hoofdinfrastructuur ²	IenM
7. Chemisch en Nucleair: (a) chemie; (b) nucleair; (c) infectieuze stoffen incl. genetisch gemodificeerde organismen (ggo's)	IenM (a), Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) ³ (b), VWS en IenM (c)

De geografische en hoogteligging van deze lokale functies is niet uniform beschikbaar. Het ligt voor de hand om bij de standaarden te gaan tot het niveau van het aangeven dat een object wordt geraakt en van welke waterdiepte sprake is ter plaatse van het object.

Voor de lokale en regionale stresstest wateroverlast zijn in aanvulling op de nationale functies wellicht ook andere (lokale) functies van belang. Bijlage 4 geeft een overzicht van lokaal kwetsbare objecten, netwerken en groepen.

Een nadere verfijning van de blootstelling van functies en objecten en de gevolgen ervan is een benadering, waarbij gekeken wordt naar waterdiepten bij bepaalde herhalingstijden op een specifieke plaats (waterrisicoprofiel ter plaatse van objecten). In het kader van de Citydeal klimaatadaptatie is een methodiek van waterrisicoprofielen en -diagrammen uitgewerkt. Bijlage 5 geeft een toelichting op deze methodiek.

²¹ Aanpak nationale vitale en kwetsbare functie, 3^e voortgangsrapportage DPRA

Bijlage 1: Samenstelling werkgroep(en)

Werkgroep neerslaggebeurtenissen

- o Daniel Goedbloed (Gemeente Amsterdam / Waternet)
- o Ron Kaptijn (Gemeente Diemen)
- o Jorg Pieneman (Gemeente Rotterdam)
- o Mark Heideveld (Gemeente Zwolle)
- o Marcel Boomgaard / Maarten Poort (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)
- o Dolf Kern (Hoogheemraadschap van Rijnland)
- o Joost Heijkers (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden)
- o Kees Peerdeman (Waterschap Brabantse Delta)
- o Frank Heijens (Waterschap Limburg)
- o Hugo Gastkemper / Harry van Luijtelaar (Stichting RIONED)
- o Joost Buntsma / Michelle Talsma (STOWA)
- o Annemiek Roeling (Deltaprogramma RA / Ministerie I&W)
- o Gert Dekker / Tobias Nootenboom (Ambient, voorzitter / secretaris)

Werkgroep basisgegevens

- o Siebe Bosch / Ralph Pieters (Hydroconsult)
- o Hugo Gastkemper / Ton Beenen (Stichting RIONED)
- o Cor de Groot (Waternet)
- o Guy Henckens (Aveco De Bondt / NL Ingenieurs)
- o Joost Heijkers (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden)
- o Thijs Nix / Jeroen Lasonder (Tauw)
- o Jorg Pieneman (Gemeente Rotterdam)
- o Kees Peerdeman (Waterschap Brabantse Delta)
- o Gert Dekker / Tobias Nootenboom (Ambient, voorzitter / secretaris)

Werkgroep simulatie waterdiepten

- o Siebe Bosch / Ralph Pieters (Hydroconsult)
- o Hugo Gastkemper / Ton Beenen (Stichting RIONED)
- o Cor de Groot (Waternet)
- o Guy Henckens (Aveco De Bondt / NL Ingenieurs)
- o Joost Heijkers (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden)
- o Bert Kiewiet (Gemeente Wijdmeren)
- o Didrik Meijer (Deltares)
- o Jorg Pieneman (Gemeente Rotterdam)
- o Kees Peerdeman (Waterschap Brabantse Delta)
- o Arnold van 't Veld (Nelen en Schuurmans)
- o Gert Dekker / Tobias Nootenboom (Ambient, voorzitter / secretaris)

Werkgroep uitvoer simulatie en kwetsbaarheid

- Nick van Barneveld (Gemeente Rotterdam)
- Hugo Gastkemper (Stichting RIONED)
- Guy Henckens (Aveco De Bondt / NL Ingenieurs)
- Joost Heijkers (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden)
- Rob Koeze (Waternet)
- Bas Kolen (HKV Lijn in Water)
- Kees Peerdeman (Waterschap Brabantse Delta)
- Eric Schumacher (DP RA / Provincie Zeeland)
- Eefje Vissers (Tauw)
- Gert Dekker / Tobias Nootenboom (Ambient, voorzitter / secretaris)

Bijlage 2. Herhalingstijden in een veranderend klimaat

Actualisatie meteogegevens voor het waterbeheer (2019)

In dit onderzoek uit 2019 zijn de langjarige meetreeksen van neerslag en verdamping voor KNMI-meetstation De Bilt gecorrigeerd voor een klimaatrend op basis van de KNMI-klimaatscenario's uit 2014. Op basis hiervan zijn intensiteiten bij verschillende herhalingstijden afgeleid voor neerslaggebeurtenissen met een duur van 10 minuten tot 8 dagen. Tabel 9 bevat de resultaten voor het huidige klimaat.

Tabel 9: Neerslaghoeveelheden bij verschillende herhalingstijden van de neerslag te De Bilt (in mm) op jaarbasis voor het klimaat rond 2019 voor neerslagduren tussen 10 minuten en 8 dagen.

T [jaar]	Neerslagduur										
	10 min	30 min	60 min	2 uur	4 uur	8 uur	12 uur	24 uur	2 dagen	4 dagen	8 dagen
0.5	8.1	10.4	12.6	15.3	18.6	22.2	24.6	30.4	38.6	50.4	68.3
1	10.2	13.5	16.2	19.5	23.4	27.7	30.5	36.8	46.0	59.3	79.4
2	12.2	16.6	20.0	24.0	28.4	33.4	36.5	43.8	54.0	68.6	90.5
5	15.1	21.2	25.8	30.7	35.9	41.7	45.2	54.2	65.5	81.4	105.1
10	17.5	25.3	31.0	36.8	42.8	49.1	52.9	63.0	74.9	91.6	116.1
20	20.3	30.2	37.2	44.2	51.1	58.0	61.9	72.6	85.0	102.1	127.0
25	21.3	32.0	39.5	46.9	54.1	61.2	65.2	75.9	88.5	105.6	130.5
50	24.7	38.2	47.7	56.5	64.8	72.5	76.6	86.9	99.5	116.6	141.5
100	28.7	45.8	57.7	68.4	78.0	86.2	90.2	98.9	111.4	128.1	152.3
200	33.4	55.0	70.0	81.3	88.7	95.0	98.1	112.1	124.2	140.0	163.2
250	35.0	58.4	74.5	86.5	93.9	100.0	102.9	116.7	128.5	143.9	166.7
500	40.8	70.4	90.7	105.0	112.2	117.5	119.6	131.7	142.5	156.4	177.5
1000	47.6	84.9	110.6	127.6	134.4	138.3	139.2	148.2	157.5	169.4	188.3

'Worst-case' scenario's neerslaghoeveelheden 2030, 2050, 2085

Op basis van de KNMI 2014 klimaatscenario's²² heeft het KNMI in opdracht van Rijkswaterstaat de neerslaghoeveelheden volgens 'worst-case' scenario's uitgerekend voor de jaren 2030, 2050 en 2085. Een worst-case scenario is altijd subjectief in die zin dat er niet een harde bovengrens aan te geven is van (veranderingen in) de intensiteit, of dat deze bovengrens zo hoog ligt dat deze praktisch gezien van geen toegevoegde waarde heeft. Daarmee is het ook moeilijk aan te geven wat het slechtst denkbare scenario is.

Met de nieuwe neerslagstatistiek voor korte en lange durven van 2019 zijn deze ook passend gemaakt aan worst-case scenario's (WL-upper-scenario) volgens de KNMI'14 klimaatscenario's (tabellen 10 t/m 14).

²² <http://www.klimaatscenario.nl/>

Tabel 10: Relatieve verandering (in %) in de neerslaghoeveelheden bij verschillende herhalingstijden van de neerslag te De Bilt op jaarbasis voor het WL-scenario voor het klimaat rond 2050 ten opzichte van het klimaat rond 2019, voor vier neerslagduren van 2 tot 12 uur.

<i>scenario 2050_WL</i>								
Herhalingstijd (jaar)	Neerslagduur							
	2 uur		4 uur		8 uur		12 uur	
	lower	upper	lower	upper	lower	upper	lower	upper
0,5	3,9	21,3	3,6	20,4	2,9	18,8	2,4	17,1
1	3,8	21,2	3,6	20,5	2,9	19,1	2,2	17,7
2	3,9	21,3	3,5	20,6	2,8	19,4	2,2	18,1
5	3,8	21,3	3,5	20,7	2,8	19,6	2,1	18,5
10	3,9	21,3	3,5	20,8	2,8	19,8	2,1	18,8
20	3,8	21,3	3,5	20,8	2,8	19,9	2,1	19,0
25	3,9	21,3	3,5	20,8	2,8	19,9	2,0	19,1
50	3,8	21,2	3,5	20,8	2,8	20,0	2,0	19,2
100	3,8	21,2	3,5	20,9	2,7	20,1	2,0	19,3
200	3,8	21,2	3,5	20,9	2,7	20,2	2,0	19,5
250	3,8	21,3	3,5	20,9	2,7	20,2	2,0	19,5
500	3,8	21,3	3,5	20,9	2,7	20,3	2,0	19,6
1000	3,8	21,2	3,5	20,9	2,7	20,3	2,0	19,7
Gemiddelde	3,9	21,3	3,5	20,8	2,8	19,8	2,1	18,9

Tabel 11: Als Tabel 11, maar voor vier neerslagduren van 24 uur tot 8 dagen

<i>scenario 2050_WL</i>								
Herhalingstijd (jaar)	Neerslagduur							
	24 uur		2 dagen		4 dagen		8 dagen	
	lower	upper	lower	upper	lower	upper	lower	upper
0,5	0,5	12,1	1,1	11,7	1,6	10,9	1,9	9,7
1	0,3	13,4	0,9	12,8	1,3	11,9	1,6	10,4
2	0,2	14,4	0,7	13,6	1,1	12,5	1,3	10,9
5	0,1	15,3	0,5	14,4	0,9	13,2	1,0	11,3
10	0,0	15,9	0,4	14,9	0,8	13,6	0,9	11,6
20	-0,1	16,3	0,4	15,3	0,7	13,9	0,8	11,8
25	-0,1	16,4	0,3	15,4	0,6	13,9	0,8	11,9
50	-0,2	16,8	0,3	15,7	0,6	14,2	0,7	12,0
100	-0,2	17,1	0,2	16,0	0,5	14,4	0,6	12,2
200	-0,2	17,3	0,2	16,2	0,5	14,6	0,5	12,3
250	-0,3	17,4	0,2	16,3	0,4	14,6	0,5	12,3
500	-0,3	17,6	0,1	16,5	0,4	14,8	0,5	12,4
1000	-0,3	17,8	0,1	16,6	0,3	14,9	0,4	12,5
Gemiddelde	-0,1	16,0	0,4	15,0	0,7	13,6	0,9	11,6

Tabel 12. 'Worst-case scenario' neerslaghoeveelheden (in mm) voor het klimaat rond "2030".

2030_WL_upper				Neerslagduur							
T	10	30	60	2	4	8	12	24	2	4	8
[jaar]	min	min	min	uur	uur	uur	uur	uur	dagen	dagen	dagen
0,5	9	11	14	17	20	24	26	32	40	52	70
1	11	15	17	21	25	30	32	38	48	62	82
2	13	18	22	26	31	36	39	46	56	71	93
5	16	23	28	33	39	45	48	57	69	85	109
10	19	27	33	40	46	53	56	66	79	96	120
20	22	33	40	48	55	62	66	77	89	107	131
25	23	34	43	50	58	66	70	80	93	110	135
50	27	41	51	61	70	78	82	92	105	122	147
100	31	49	62	74	84	92	96	105	118	134	158
200	36	59	75	88	95	102	105	119	131	147	169
250	38	63	80	93	101	107	110	124	136	151	173
500	44	76	98	113	121	126	128	140	151	164	184
1000	51	91	119	137	145	148	149	158	166	178	195

Tabel 13. 'Worst-case scenario' neerslaghoeveelheden (in mm) voor het klimaat rond "2050".

2050_WL_upper				Neerslagduur							
T	10	30	60	2	4	8	12	24	2	4	8
[jaar]	min	min	min	uur	uur	uur	uur	uur	dagen	dagen	dagen
0,5	10	13	15	19	22	26	29	34	43	56	75
1	12	16	20	24	28	33	36	42	52	66	88
2	15	20	24	29	34	40	43	50	61	77	100
5	18	26	31	37	43	50	54	62	75	92	117
10	21	31	38	45	52	59	63	73	86	104	130
20	25	37	45	54	62	70	74	84	98	116	142
25	26	39	48	57	65	73	78	88	102	120	146
50	30	46	58	69	78	87	91	101	115	133	159
100	35	56	70	83	94	104	108	116	129	147	171
200	40	67	85	99	107	114	117	132	144	160	183
250	42	71	90	105	114	120	123	137	149	165	187
500	50	85	110	127	136	141	143	155	166	180	200
1000	58	103	134	155	163	166	167	175	184	195	212

Tabel 14. 'Worst-case scenario' neerslaghoeveelheden (in mm) voor het klimaat rond "2085".

2085_WL_upper				Neerslagduur							
T	10	30	60	2	4	8	12	24	2	4	8
[jaar]	min	min	min	uur	uur	uur	uur	uur	dagen	dagen	dagen
0,5	11	15	18	22	26	30	33	37	47	60	80
1	14	19	23	28	33	38	41	46	57	72	94
2	17	23	28	34	40	46	49	56	68	85	109
5	21	30	36	43	50	57	61	70	83	102	127
10	25	36	44	52	60	68	72	82	96	115	142
20	29	43	53	62	72	80	85	95	110	129	156
25	30	45	56	66	76	85	89	100	114	133	160
50	35	54	67	80	91	101	105	115	129	148	174
100	41	65	81	97	109	120	124	131	145	163	188
200	47	78	99	115	125	132	135	150	163	179	202
250	49	82	105	122	132	139	142	156	168	184	206
500	58	99	128	148	158	164	165	177	187	201	220
1000	67	120	156	180	189	193	192	199	208	218	234

Bijlage 3: Checklist verantwoording simulatie stresstest wateroverlast

Systeemanalyse

Gebiedsafbakening

- Welk geografisch gebied heeft u beschouwd?
- Welk geografisch gebied heeft u gemodelleerd?
- Waarom is deze afbakening gekozen?

Welke deelsystemen zijn gesimuleerd bij de stresstest wateroverlast?

- Afstroming over het maaiveld
- Oppervlaktewatersysteem
- Riolering en interactie oppervlaktewater
- Grondwatersysteem
- Effecten opstuwing wind (windopslag)

Waarom heeft u voor deze afbakening van het systeem gekozen?

Modelkeuze

1. NEERSLAG

Hoe heeft u de neerslagafvoer gemodelleerd

- Neerslag op oppervlakmodel
- Neerslag op oppervlakmodel, alleen daken via inloopmodel in rioleringsmodel
- Neerslag via inloopmodel direct in riool
- Neerslag anders verdeeld, namelijk:

2. MAAIVELD

Welk type maaiveldmodel heeft u gebruikt?

- Een gedetailleerd stromingsmodel op basis van lokale inmeting
- Een gedetailleerd stromingsmodel op basis van gevlogen hoogtemetingen
- Een GIS op basis van lokale inmeting
- Een GIS op basis van gevlogen hoogtemetingen
- Anders, namelijk:

Wat is de ruimtelijke resolutie?

3. RIOLERING

Welk type rioleringsmodel heeft u gebruikt?

- Volledige gedetailleerd strengenmodel
- Vereenvoudigd tot een (meervoudig) reservoirmodel met berging, ledigings- en overloopcapaciteit
- Anders, namelijk:

Wat is de resolutie van dit model in de ruimte en tijd?

4. OPPERVLAKTEWATER

Welk type oppervlaktewatermodel heeft u gebruikt?

- Volledige gedetailleerd (A-B-C watergangen)
- Op basis van standaardprofielen
- Vereenvoudigd tot reservoirmodel
- Vereenvoudigd op andere wijze
- Opgenomen in rioleringsmodel
- Geen, het oppervlaktewater is als randvoorwaarden meegenomen
- Anders, namelijk:

Wat is de resolutie van dit model in de ruimte en tijd?

Hoe vond de afvoer vanuit het oppervlaktewatermodel plaats?

- Geschematiseerd als afvoerconstructie (stuw/gemaal/...) met gesimuleerde invloed vanuit benedenstrooms systeem
- Geschematiseerd als afvoerconstructie (stuw/gemaal/...) zonder gesimuleerde invloed vanuit benedenstrooms systeem (vrije uitstroom)
- Als vaste afvoer
- Anders, namelijk:

5. INTERACTIE DEELSYSTEMEN

Hoe vond de uitwisseling plaats tussen maaiveldmodel en rioleringsmodel?

- Inloop via de inspectieputten
- Inloop via kolken
- Anders, namelijk:

Hoe vond de uitwisseling plaats tussen maaiveldmodel en oppervlaktewatermodel?

- Koppeling op knooppunten
- Koppeling over de volledige grenslijn
- Anders, namelijk:

Hoe vond de uitwisseling plaats tussen rioleringsmodel en oppervlaktewatermodel?

- Koppeling op knooppunten
- Opgenomen in rioleringsmodel
- Anders, namelijk:

Actuele toestand systeem en objecten

In hoeverre is de onderhoudssituatie van het rioolstelsel meegenomen?

- Op basis van integrale metingen;
- Op basis van simulatie n.a.v. steekproeven;
- Niet, uitgangspunt is optimaal werkend systeem

In hoeverre is de onderhoudssituatie van het oppervlaktewater meegenomen?

- Op basis van integrale metingen;
- Op basis van simulatie n.a.v. steekproeven;
- Niet, uitgangspunt is optimaal werkend systeem

Schadegevoelige objecten

Hoe zijn de souterrains of andere ondergrondse panden meegenomen in de simulatie?

- Locaties zijn onbekend
- Locaties zijn bekend, drempelniveau op de overgang naar de straat is niet specifiek geschematiseerd
- Locaties zijn bekend, drempelniveau op de overgang naar de straat is wel specifiek geschematiseerd

Hoe zijn de tunnels meegenomen in de simulatie?

- Bemalingscapaciteit en volume bergingskelder zijn meegenomen
- Waterberging op de weg in tunnels is meegenomen.
- Hoogteligging op basis van AHN
- Hoogteligging omgeving tunnel is in detail opgemeten om toestroming van water naar de tunnel goed te kunnen schatten
- Anders, namelijk:

Modelkwaliteit en onzekerheden

Kwaliteit basisgegevens: welke van de volgende gegevens heeft u moeten schatten?

- Ligging en dimensies B en C-watgangen
- Dimensionering stuwen, gemalen
- Capaciteit overstortingen vanuit het rioolstelsel
- Capaciteit van de kolkaansluitingen op het rioolstelsel
- Anders, namelijk

Heeft een modelcontrole plaatsgevonden? Op welke onderdelen?

Heeft een modelkalibratie gevonden? Aan welke situatie is gekalibreerd?

Heeft een modelvalidatie plaatsgevonden?

Welke bui is daarvoor gebruikt (datum, hoeveelheid, piek, duur)?

Welke informatie over overlast was hiervoor beschikbaar:

- YouTube video's
- Foto's
- Informatie uit meldsysteem
- Informatie uit enquête(s) onder bewoners/bedrijven in kwetsbare gebieden
- Informatie van wijkbeheerders
- Anders, namelijk:

Heeft een gevoeligheidsanalyse plaats gevonden?

En zo ja, Welke modelparameters zijn hierbij gevarieerd en welke bandbreedte in waterdiepten komt hierbij naar voren?

Welke stappen zijn gezet om de kwaliteit van het model te verbeteren?

- Aanvullende meting maaiveldhoogten
- Inmeting kolken
- Inmeten rioolputten en -leidingen
- Aanvullende meting overstortdrempels
- Inmeten watergangen
- Aanvullende meting stuwen
- Aanvullende meting duikers
- Aanvullende meting kwetsbaar niveau (deuropening/raam/ventilatieopening/afrit)
- Nader onderzoek tunnelbemaling
- Voorleggen aan gebiedsbeheerders (gemeente en waterschap)
- Voorleggen aan bewoners
- Overig, namelijk:

Welke stappen gaat uit de komende jaren (op weg naar een volgende stresstest) zetten om de kwaliteit van het model te verbeteren?

Bijlage 4: Overzicht van lokaal kwetsbare objecten, netwerken en groepen

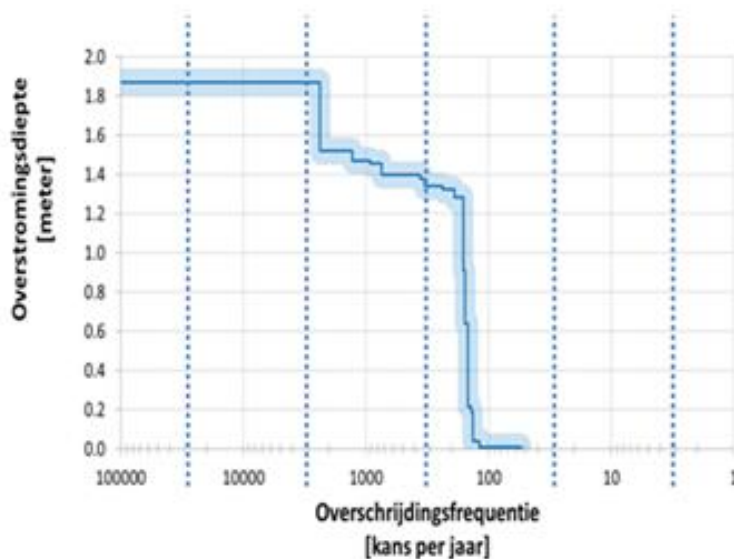
We spreken van kwetsbare objecten, netwerken en groepen als het gaat om de levering van producten, diensten en de onderliggende processen die, als zij uitvallen, maatschappelijke ontwrichting kunnen veroorzaken. Dat kan zijn omdat er sprake is van veel slachtoffers en grote economische schade, dan wel wanneer het herstel zeer lang gaat duren en er geen reële alternatieven voorhanden zijn, terwijl we deze producten en diensten niet kunnen missen. (Factsheet Vitale Sectoren BZK).

Objecten, groepen, netwerken	
Bron: Handreiking voor een stresstest klimaatbestendigheid (2014, annex 3)	
Mobiliteit <ul style="list-style-type: none"> • Hoofdwegen • Wijk(ontsluitings)wegen • Tunnels en onderdoorgangen • Vaarwegen • Metro • Spoorwegen • Stations • Trein-emplacement/-overslagstations 	Kwetsbare groepen <ul style="list-style-type: none"> • Lichamelijk en geestelijk gehandicapten • Bejaarden • Zieken, verpleeg en verzorgingstehuizen • Gevangenen • Kinderen, zwangeren • PM Dierentuin • PM Huisdieren (opvang honden en katten)
Nutsvoorzieningen <ul style="list-style-type: none"> • Drinkwaterwinpunten • Drinkwaterreservoirs • Drinkwaterdistributienet • Elektriciteitscentrales • Transformator- / onderstations • Wijk-distributiestationen • Gas-, distributie- en meetstations • Gas-distributienetwerk • Telefoon – zendmasten (+ voeding) • Telefoon/internet- centrales en verdeelkasten • Telefoon/internet-kabels • Noodnetcentrales en -netwerk • CAI & Glasvezel-centrales en verdeelkasten • CAI & Glasvezelkabels / internet • Stadsverwarmingscentrale • Distributiestationen stadsverwarming • Vuilstortkokers 	Objecten <ul style="list-style-type: none"> • Politiebureaus • Brandweerkazernes • Ziekenhuizen / klinieken • Productiecentra en opslag serums en geneesmiddelen Gemeentehuizen • Waterschapshuizen (crisiscentra) • Radio(rampen)zenders • Kazernes en andere militaire objecten • Crisiscentra / alarm- en coördinatiepunten • Opslag van voedsel- en noodvoorzieningen • Parkeerkelders/-garages • ICT-centra(server-hubs) • Navigatieposten scheepvaart • Centra elektronisch betalingsverkeer • Gemalen, pompen • Rioolwaterzuiveringsinrichtingen en rioolgemalen • Musea en monumenten • Fabrieken en opslag gevaarlijke stoffen <ul style="list-style-type: none"> - nucleaire stoffen (ook radiotherapie) - op- en overslag explosieve stoffen, LPG, brandstof - Afvalverwerkende bedrijven - BRZO bedrijven (zie www.risicokaart.nl)

Bijlage 5: Waterrisicoprofiel en -diagram

Waterrisicoprofiel

Een nadere verfijning van de blootstelling van functies en objecten is een benadering, waarbij gekeken wordt naar waterdiepten bij bepaalde herhalingstijden op een specifieke plaats (waterrisicoprofiel ter plaatse van objecten). Hierbij kan een combinatie worden gemaakt van waterdiepten als gevolg van extreme neerslag en overstromingen die het gevolg zijn van doorbraken van primaire of secundaire keringen. Figuur 5 toont ter illustratie een voorbeeld van een waterrisicoprofiel.



Figuur 5: Illustratie waterrisicoprofiel

(Bron: *Waterrisico's bij ruimtelijke ontwikkelingen en assets, Citydeal Klimaatadaptatie*)

Het zogenaamde waterrisicoprofiel richt zich op het zichtbaar maken van de blootstelling van functies en objecten bij wateroverlast en overstromingen. Het zegt feitelijk nog niks over het gevolg daarvan (falen functies of objecten).

Waterrisicodiagram

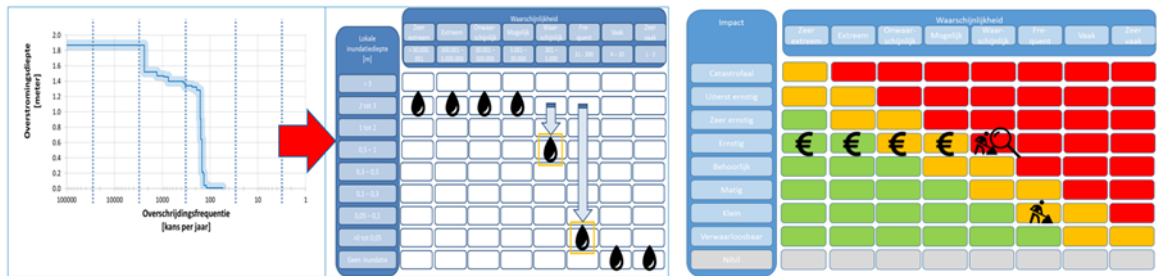
Een vervolg op het in beeld brengen van de blootstelling van functies en objecten is het inschatten van het gevolg van deze blootstelling. Om de gevolgen van een bepaalde blootstelling in beeld te brengen is in een traject van de City Deal Klimaatadaptatie een methodiek van risicodiagrammen voor wateroverlast en overstromingen uitgewerkt. In de methodiek worden vier categorieën van gevolgen onderscheiden:

- Schade;
- Slachtoffers;
- Maatschappelijke ontwrichting (aantal dagen van uitval);
- Imago (incl. milieuschade en effect op biodiversiteit).

Per functie of objecttype wordt een inschatting gemaakt van het gevolg van de blootstelling.

Afhankelijk van de grootte van de gevolgen is de ernst aangegeven. Het classificeren van de ernst van de gevolgen (catastrofaal, ernstig, etc.) is overigens geen onderdeel van de stresstest, maar onderdeel van de risicodialoog.

Figuur 6 geeft ter illustratie een voorbeeld van een risicodiagram weer. Een toelichting op de methodiek en werkwijze van de waterrisicodiagrammen is te vinden de rapportage van de City Deal Klimaatadaptatie [[link opnemen](#)].



Figuur 6: Illustratie ontwikkelen waterrisicodiagram (Bron: Waterrisico's bij ruimtelijke ontwikkelingen en assets, Citydeal Klimaatadaptatie)