

# NOTITIE

Betreft                    Standaarden voor de stresstest wateroverlast

Datum                    7 april 2020 - actualisatie november 2024

## Inleiding

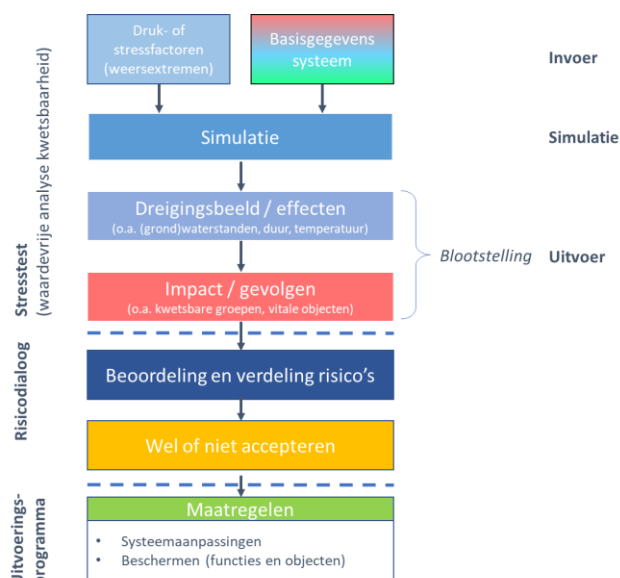
Deze notitie gaat in op de in 2018 uitgewerkte standaarden voor de DPRA-stresstest wateroverlast. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen een standaard als *minimumeis* voor het uitvoeren van een stresstest wateroverlast en een *werkwijze* die in de praktijk kan worden toegepast. De notitie is op enkele onderdelen geactualiseerd ten behoeve van de tweede ronde DPRA-stresstesten en is verwerkt in de bijsluiter DPRA stresstesten<sup>1</sup>. In de bijsluiter zijn ook standaarden opgenomen voor de thema's droogte, hitte en gevolgbeperving overstromingen.

## Standaarden stresstest wateroverlast

De doelstelling van de DPRA-stresstesten is het in beeld brengen van de kwetsbaarheid van de leefomgeving voor wateroverlast, droogte, hitte en de gevolgen van overstromingen. Het doel van de standaarden of uniforme uitgangspunten is 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. Voor het thema wateroverlast is de interactie tussen de deelsystemen van de bebouwde kom (riolering, stedelijk water en maaiveld) en het regionaal systeem (regionaal water en maaiveld) een belangrijke schakel bij het functioneren van de deelsystemen bij extreme neerslaggebeurtenissen.

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.

<sup>1</sup> <https://klimaatadaptatienederland.nl/stresstest/bijsluiter/>

De stresstest richt zich op het in beeld brengen van de kwetsbaarheid (blootstelling) voor wateroverlast. De kwetsbaarheid bestaat uit een zogenaamd dreigingsbeeld bijvoorbeeld waterdiepten en een gevolgenbeeld bijvoorbeeld het uitvallen van vitale objecten. Dit is input voor de risicodialoog waarin een beoordeling plaatsvindt 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 eenvoudig klimaatadaptieve maatregelen worden genomen. De stresstest, risicodialoog en het uitvoeringsprogramma worden dan gecombineerd toegepast in het ontwerp/ planproces van een project.

Bij de standaarden ligt de nadruk op de deelsystemen maaiveld, riolering en het oppervlaktewater (zowel in de gebouwde omgeving als in het landelijk gebied). De standaarden voor de stresstest sluiten aan bij bestaande "standaarden", zoals de Kennisbank van Stichting RIONED, de werkwijze bij de provinciale normering wateroverlast en gaat uit van het vakmanschap van de modelleur, beheerder en opdrachtgever.

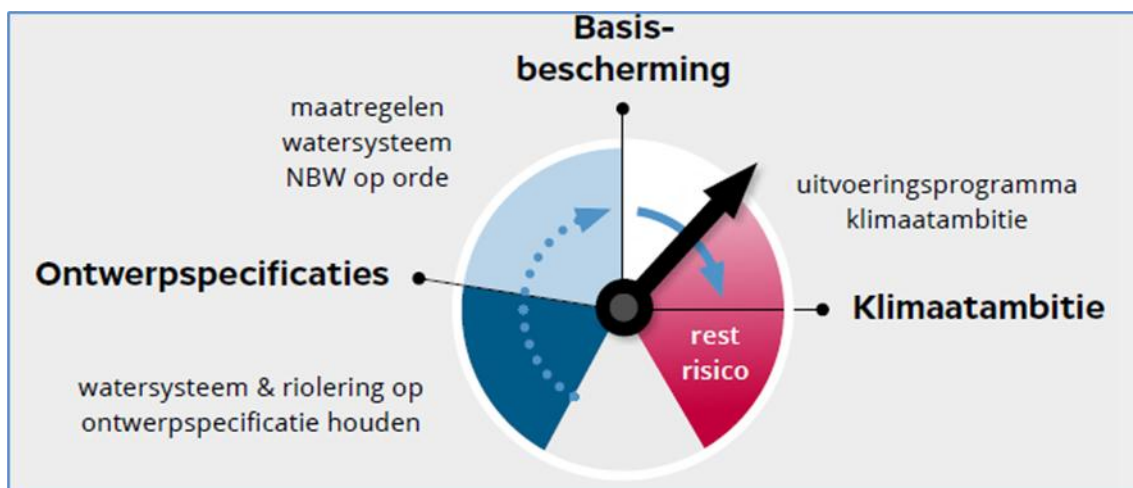
### Leeswijzer

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 2:** Illustratie (ontwerp)normen, klimaatambities en restrisico's (Bron: geïnspireerd op een illustratie van Deltares)

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 DPRA-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 de provinciale normen wateroverlast en ontwerpnormen voor riolering bestaan. Dat betekent dat bestaande normen en de bovennormatieve aanpak van de stresstest dus naast elkaar bestaan. Beide met een eigen specifieke doelstelling.

### 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 de verschillende systemen in zowel de gebouwde omgeving als 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 gebied<sup>2</sup>.

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

### *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.

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

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

| Duur           | Kort   | Lang  |
|----------------|--|---|
| Werkelijke bui | <p><b>Bui Herwijnen (2011)</b><br/>93 mm in 70 min.</p> <p><b>Bui Kopenhagen (2011)</b><br/>150 mm in 120 min.</p> <p><b>Bui Amsterdam (2014)</b><br/>90 mm in 120 min.</p> <p><b>Bui Münster (2014)</b><br/>220 mm in 90 min.</p> | <p><b>Bui Achterhoek (2010)</b><br/>163 mm in 26 uur. De 24-uursom overschreed 100 mm in een gebied van 2100 km<sup>2</sup>.</p> <p><b>Limburg (2021)</b><br/>160 tot 200 mm in 48 uur.</p> |

**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"> <li>• 60, 90 en 120 mm.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 35, 55 en 80 mm.</li> <li>• 100 mm.</li> <li>• 120 mm.</li> </ul> | 70, 100 en 130 mm. |

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

### 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 extreme neerslaghoeveelheden wordt uitgedrukt in een 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 met een uursom van meer dan 80 mm valt gemiddeld een kleine 10 keer per jaar. (Bron: KNMI<sup>3</sup>).

<sup>3</sup> Bijdrage KNMI RIONEDdag 2017  
<http://www.rioneddag2017.nl/013-extreme-neerslag-komt-veel-vaker-voor/>

#### **Actualisatie meteogegevens voor het waterbeheer (2015)<sup>4</sup>**

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-klimaatsscenario's.

#### **Neerslagstatistieken voor korte duren (2018)<sup>5</sup>**

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-klimaatsscenario'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.

#### **Uitbreiding neerslagstatistiek voor korte duren voor RWS-WVL (2018)<sup>6</sup>**

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 klimaatsscenario's (temperatuurstijging van 3,5 graden in 2085).

#### **Update neerslagstatistieken voor lange duren en uitbreiding voor korte duren (voorjaar 2019)<sup>7</sup>**

Voor de neerslagduren vanaf 24 uur (lange duren) wordt in opdracht van STOWA een onderzoek gestart 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 wordt een doorkijk gegeven voor het toekomstige klimaat o.b.v. de KNMI'14 klimaatsscenario's (2030-2050-2085), zowel voor de lange als de korte duren.

---

<sup>4</sup> Actualisatie meteogegevens voor waterbeheer 2015 (STOWA 2015, door KNMI en HKV Lijn in Water)

<sup>5</sup> Nieuwe neerslagstatistiek voor korte tijdsduren, extreme buien zijn extremer geworden (STOWA 2018, door KNMI en HKV Lijn in Water)

<sup>6</sup> Update neerslagstatistiek korte duren voor RWS-WVL o.b.v. STOWA (KNMI 2018)

<sup>7</sup> <https://www.stowa.nl/neerslagstatistieken>

### **Actualisatie meteogegevens voor het waterbeheer (2024)<sup>8</sup>**

Eind 2023 heeft het KNMI nieuwe klimaatscenario's opgeleverd: KNMI 2023 scenario's. Dit was aanleiding om de basisstatistiek neerslagstatistiek die STOWA in 2019 heeft opgeleverd, tegen het licht te houden. Op basis van de basisstatistiek en de nieuwe klimaatscenario's is onderzocht of er nog aanpassingen nodig waren in de klimaatstatistiek. Uit het onderzoek komt naar voren dat de STOWA basisstatistiek die is opgeleverd in 2019 hetzelfde blijft. De nieuw beschikbare metingen tot en met 2022 geven geen aanleiding voor herziening van de basisstatistiek voor het huidige klimaat.

De toekomststatistiek die is afgeleid uit de KNMI 2023 scenario's, is anders van opbouw dan die van 2019. Dat komt omdat er voor de KNMI 2023 scenario's andere keuzes zijn gemaakt. Er zijn andere zichtjaren gekozen en de scenario's zijn op iets andere manier gedefinieerd.

Bij het bepalen van de intensiteiten van de standaard neerslaggebeurtenissen is gebruik gemaakt van het in opdracht van STOWA uitgevoerde onderzoek naar de neerslagstatistiek en -reeksen voor het waterbeheer, die is afgeleid van de KNMI'14 en KNMI'23 klimaatscenario's. De intensiteiten bevinden zich nabij de bovengrens van het statistische betrouwbaarheidsinterval waarbinnen de neerslag zich door klimaatverandering kan voordoen rond het jaar 2050. De keuze voor het gebruik van die bovengrens geeft een relatief zware belasting van het systeem, wat past bij het karakter van een stresstest.

Alle neerslagdata zijn in meteobase beschikbaar: [www.meteobase.nl](http://www.meteobase.nl). Meteobase biedt uitgebreide informatie over de neerslagstatistiek voor het waterbeheer. De regenduurlijnen laten daar zien hoe de hoeveelheid neerslag bij gebeurtenissen van verschillende duren en herhalingstijden, onder de KNMI'23 scenario's in de toekomst (2033, 2050, 2100 en 2150) veranderen. Bij een vergelijk van de standaard neerslaggebeurtenissen met deze regenduurlijnen is het van belang te weten dat meteobase.nl de centrale schatting geeft uit het betrouwbaarheidsinterval waarbinnen de neerslag zich kan ontwikkelen. Deze ligt lager dan de bovenkant van het interval, waarop de standaard neerslaggebeurtenissen zijn gebaseerd.

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.

---

<sup>8</sup> <https://www.stowa.nl/publicaties/neerslagstatistiek-reeksen-en-gebeurtenissen-op-basis-van-de-knmi23-klimaatscenarios-meteo-onderzoek>

## 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);

### *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 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 (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.

Tabel 4 geeft een overzicht van de 8 standaard neerslaggebeurtenissen 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 en KNMI'23 scenario's.

**Tabel 4.** Neerslaghoeveelheden voor de standaard neerslaggebeurtenissen

| schaal    | duur [uur] | herhalingstijd [1/n jaar] | hoeveelheid huidig klimaat [mm] | standaard neerslaggebeurtenis stresstest | initiële condities                                   |
|-----------|------------|---------------------------|---------------------------------|--|--|
| Lokaal    | 1          | 100                       | 58                              | <b>70</b>                                | n.v.t.   |
|           |            | 250                       | 75                              | <b>90</b>                                |  |
|           | 2          | 1000                      | 128                             | <b>155</b>                               |  |
|           | 48         |                           | 200                             | <b>200</b>                               | hoge waterstand in buitengebied. Zie Handreiking BRS |
| Regionaal | 48         | 100                       | 111                             | <b>130</b>                               | GG, gemiddeld belast systeem                         |
|           |            | 100                       | 111                             | <b>130</b>                               | GHG, vol systeem                                     |
|           |            | 250                       | 128                             | <b>150</b>                               | GG, gemiddeld belast systeem                         |
|           |            | 1000                      | 157                             | <b>185</b>                               | GG, gemiddeld belast systeem                         |

### *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 km<sup>2</sup> 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 km<sup>2</sup> de gebiedsreductiefactor 0,90 (ofwel gemiddeld over het gebied van 10 km<sup>2</sup> valt er in een uur 10% minder regen dan in willekeurig punt), en bij een gebiedsgrootte van 100 km<sup>2</sup> 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 km<sup>2</sup>.

### *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 conditie 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. Er kan echter worden gekozen voor het zomer-streefpeil, omdat de kans groter is dat korte extreme neerslaggebeurtenissen met name in de zomerperiode voorkomen.

De gebeurtenis van 200 mm in 48 uur op lokale schaal is toegevoegd om te kunnen onderzoeken of er knelpunten ontstaan in de gebouwde omgeving onder de omstandigheden die worden beschouwd in de Bovenregionale Stresstest wateroverlast. Onder die omstandigheden is de belasting van het volledige waterafvoersysteem groot en staan de peilen in het oppervlaktewater hoog. De gebouwde omgeving kan dan niet, of slechts in geringe mate, regenwater afvoeren naar het omliggende buitengebied, wat voor langdurige wateroverlast kan zorgen.

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

#### **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 km<sup>2</sup>.

## 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 5 illustreert de basisgegevens die nodig zijn voor de simulatie van waterdiepten voor de deelsystemen maaiveld, riolering en oppervlaktewater.

**Tabel 5:** *Overzicht basisgegevens simulatie waterdiepten*

| Invoergegevens                            | Deelsystemen  |  |  |
|---|---|--|--|
|   | Maaiveld  | Riolering  | Oppervlaktewater   |
| Belasting                                 | Standaard neerslaggebeurtenissen conform statistiek<br>Werkelijk opgetreden neerslaggebeurtenissen        |  |  |
| Geometrie voorzieningen en deelsystemen   | Maaiveldhoogten (actuele AHN) of eigen hoogtebestanden<br><br>Ligging gebouwen (BAG)                      | Geometrie:<br>Leidingen<br>Putten<br>Overstorten<br>Uitlaten<br>Eventueel kolken<br>Gemalen<br>Bergingsvoorzieningen<br>Infiltratievoorzieningen<br>Afvoerend oppervlak<br>Aangesloten oppervlak op riolering<br>Grondwaterstand | Geometrie:<br>Watergangen (A-B-C)<br>Gemalen<br>Stuwen<br>Duikers<br>Afvoerend oppervlak       |
| Initiële condities                        |   | Droogweerafvoer<br>Voorvulling<br>Grondwaterstand zomer of winter/percentiel   | Afvoer/debiet<br>Zomer/winterpeil  |
| Modelparameters                           | Afstromingsweerstand<br>Infiltratiecapaciteit<br>Verdamping (bij langdurige bui of langere simulatietijd) | Stromingsweerstand<br>Berging<br>Pompcapaciteit  | Stromingsweerstand<br>Berging<br>Gemaalcapaciteit/schake lpeilen                               |
| Interactie riolering met oppervlaktewater |   | Geometrie:<br>Riooloverstorten<br>Regenwater uitlaten<br>Peilen (buitenwater)  |  |
| Interactie grondwater                     |   | Infiltratiecapaciteit bodem, voorzieningen e leidingen<br>Drainage weerstand voorzieningen en leidingen  | Infiltratie weerstand watergang<br>Infiltratiecapaciteit bodem<br>Drainage weerstand watergang |
| Modelcontrole                             | Hoogtemeting  | Waterstanden<br>Debieten<br>Waterbalansen<br>Frequentie overstorten/uitlaten   | Waterpeilen<br>Debieten<br>Waterbalansen   |

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  |  | Overgestorte hoeveelheden en debieten en duur Bassinvulling gemalen |  |
|--|--|---|--|

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 minimumeis (standaard).

Van de gemeten punten in het hoogtebestand zijn verschillende producten beschikbaar<sup>9</sup>:

- 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.
- AHN4 DSM (Digital Surface Model) is bedoeld als ruw bestand, waarbij alle punten behalve die geclassificeerd als "water" tot een raster zijn samengesteld.
- AHN4 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) methode<sup>10</sup>. Deze interpolatiemethode is gebaseerd op het gewogen gemiddelde van metingen van het maaiveld rondom het gat in AHN.

### **Aandachtspunten**

- Ter validatie van het hoogtemodel of bij opvallende zaken in het hoogtemodel, kan ervoor gekozen worden om een hoogteverschilkaart te maken. Bijvoorbeeld de AHN4 minus de AHN3 kaart. Bij grote onderlinge verschillen kan het de moeite zijn om nader in te zoomen op deze locatie(s) en te bepalen of de dataset betrouwbaar is t.o.v. de praktijksituatie.
- 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 gebouwen<sup>11</sup>;
- 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.

<sup>9</sup> <https://www.pdok.nl/nl/ahn3-downloads>

<sup>10</sup> <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/analysis/geostatistical-analyst/how-inverse-distance-weighted-interpolation-works.htm>

<sup>11</sup> <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 4), 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 van BAG). Er zijn verschillende werkwijzen mogelijk:

- Bij de eerste simulatie van de waterdiepten het signaleren van gebouwen met water tegen de gevel. Vervolgens worden voor deze "kwetsbare" gebouwen door of samen met de eigenaar bepaald wat de specifieke gebouweigenschappen zijn;
- Per gebouwtypologie 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.

Landgebruiksgegevens 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.

## Detailing 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

Waterschappen hebben de relevante gegevens over het regionaal watersysteem (zie tabel 5). De ligging van kunstwerken in B- en C-watgangen (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-watgangen). Zij zijn verantwoordelijk voor deze informatie en kunnen de BGT-informatie hiermee verrijken.

Vul de BGT kaart in het buitengebied aan met gegevens over de geometrie van het watersysteem zoals beschikbaar in de beheerregisters van de waterschappen. In de bebouwde kom is detailing van de geometrie van belang als de watgangen een afvoerende en/of bergende functie hebben bij extreme neerslaggebeurtenissen en dit in het model meegenomen dient te worden in de berekening, d.w.z. wanneer er met een integraal model gerekend gaat worden

Verder is het van belang om voor alle geschematiseerde watgangen het juiste oppervlaktewaterpeil te hanteren. Deze informatie is via de waterschappen verkrijgbaar. Wanneer er een flexibel peil of zomer/winterpeil is vastgesteld is het van belang om met het desbetreffende waterschap te bepalen welk oppervlaktewaterpeil het meest relevant is i.r.t. de stresstest en de doelen.

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 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 is dit 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-loket<sup>12</sup>, GeoTOP<sup>13</sup> en REGIS<sup>14</sup>.

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).

<sup>12</sup> <https://www.dinoloket.nl/>

<sup>13</sup> <https://www.dinoloket.nl/en/geotop-more-detail-upper-50-meters>

<sup>14</sup> <https://www.dinoloket.nl/regist-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 het modelinstrumentarium (en 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 gedetailleerd 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 (minimumeis proces en inhoud)**

Stappenplan:

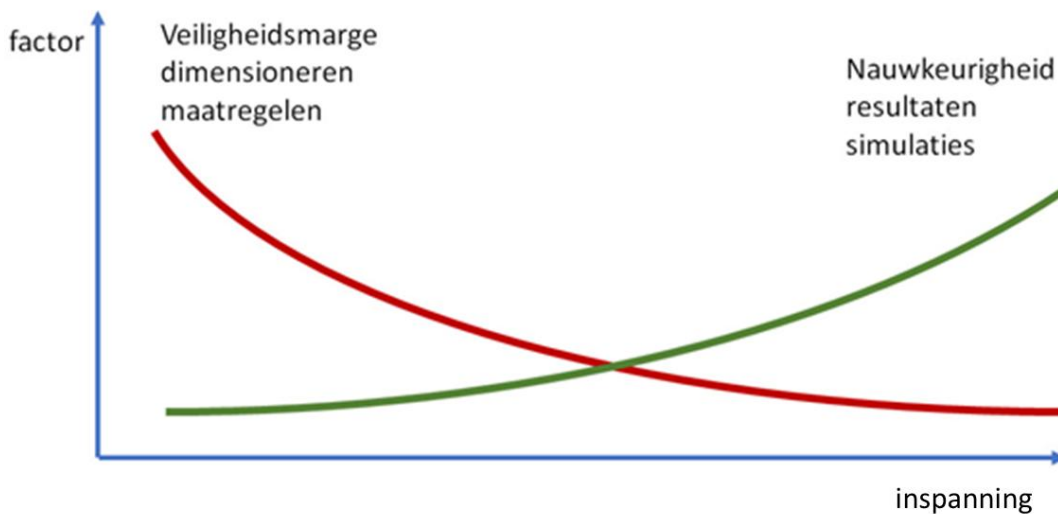
1. Formuleren doelstellingen simulatie waterdiepten
2. Kwalitatieve (globale) systeemanalyse, waarin beargumenteerde keuzes worden gemaakt over de volgende aspecten:
  - Geografische omvang van het te modelleren gebied
  - Functioneren (grond)watersysteem (o.a. afwatering, kwel/infiltratie)
  - Hydraulisch 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 3:** 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 wat 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 heeft in de Kennisbank Stedelijk Waterbeheer een module opgenomen over het hydraulisch functioneren van de riolering.

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:

- o de dimensionering van watergangen, stuwen en duikers (met name duikers in watergangen, die een essentiële rol vervullen in het verdelen van water);
- o de dimensionering van boezem- en poldergemalen;
- o 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:

- o 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 NHI<sup>15</sup> of DINO-loket<sup>16</sup>);
- o 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 wordt een benadering uitgewerkt voor de wijze van het simuleren van de interactie tussen het regionaal watersysteem en het rioolsysteem.

---

<sup>15</sup> <http://www.nhi.nu/>

<sup>16</sup> <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 bergingsruimte 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 herhalingsdij van 250 en 1000 jaar te kiezen voor een initiële conditie 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 herhalingsdij 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 de 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 6:** Modelcontrole per deelsysteem

|                             | Deelsystemen                         |           |                  |
|-----------------------------|--------------------------------------|-----------|------------------|
|                             | Maaiveld                             | Riolering | Oppervlaktewater |
| <b>Modelcontrole</b>        | X                                    | X         | X                |
| <b>Kalibratie</b>           |                                      |           | X                |
| <b>Validatie</b>            |                                      | X         | X                |
|                             | Gehele systeem, inclusief interactie |           |                  |
| <b>Gevoeligheidsanalyse</b> |                                      |           |                  |
|                             | 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 1 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 op de leefomgeving. 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 van 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 kan 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)<sup>17</sup>
- 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, 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.

---

<sup>17</sup> Idem, sterk afhankelijk van inloophoogte



### **Standaarden (minimumeis)**

#### *Systeemgericht*

- 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.

Bij de weergave van de uitkomsten wordt geadviseerd, indien mogelijk, zoveel mogelijk aan te sluiten bij de wijze waarop de watersysteemanalyses (o.a. toetsing aan provinciale normen) worden weergegeven. Op deze manier kunnen mogelijke verschillen makkelijker worden opgemerkt.

#### *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 de hoofdtekst van de bijsluiter gevolgen is een overzicht van vitale en kwetsbare functies gegeven.

De geografische ligging en hoogteligging van deze lokale functies is niet uniform beschikbaar. Het ligt voor de hand om bij de stresstest in beeld te brengen dat een object wordt geraakt en van welke waterdiepte sprake is ter plaatse van het object.

Voor de DPRA-stresstest wateroverlast zijn in aanvulling op de nationale functies wellicht ook andere (lokale) functies van belang. Bijlage 2 geeft een overzicht van lokaal kwetsbare objecten, netwerken en groepen.

# Bijlage 1: 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 opstuwning 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?**

- Bernalingscapaciteit 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-watergangen
- 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 2: 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).

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