



Wouter van Riel, Wageningen Universiteit / Deltares
 Daniel Tollenaar, Deltares
 Frans van de Ven, Deltares / TU Delft

Wateroverlast en onzekerheid: een integraal perspectief

Het optreden van water op straat wordt in Nederland berekend met rioleringsmodellen om beheerders te assisteren in de besluitvorming over maatregelen ter reductie van regenwateroverlast. Het is daarom belangrijk resultaten van rioleringsmodellen te vertalen naar voor beheerders relevante informatie: gevolgen van water op straat op alle relevante plaatsen (schaderisico's). Deze gevolgen kunnen zijn: kosten door waterschade, vermindering van comfort en gezondheidsschade. Het is echter vrijwel onbekend wat de relatie is tussen de hoeveelheid water op straat en schaderisico's. Doel van deze studie is dan ook inzicht krijgen in de huidige kennis over (onzekerheid in) schaderisico's als gevolg van regenwateroverlast. De onzekerheid in de vertaling van modelresultaten naar schaderisico's is echter zo groot dat deze informatie voor beheerders wellicht beperkt bruikbaar is. Een verantwoorde afweging voor investeringen op basis van schaderisico's is daarom nauwelijks te maken.

Is Nederland voorbereid op klimaatverandering en wat kunnen we doen om Nederland klimaatbestendiger te maken? Deze vraag is gesteld door het onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat. Deze studie valt onder het thema Klimaatbestendige Steden van dit onderzoeksprogramma, waarin Deltares consortiumpartij is. De reden voor deze vraag is de mogelijke negatieve invloed van klimaatverandering op de aantrekkelijkheid van Nederland om te wonen, werken en recreëren.

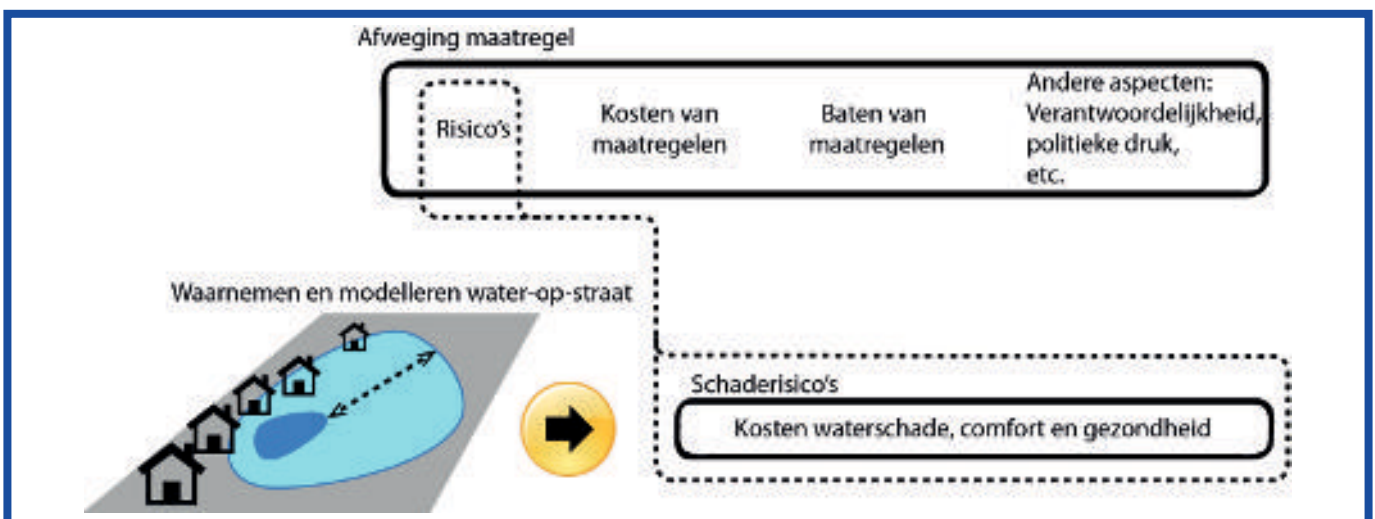
Door klimaatverandering neemt onder

andere de kans op extreme neerslag toe. Hierdoor zal waarschijnlijk ook de kans toenemen op ondergelopen straten en dus ook de kans op wateroverlast. Het optreden van water op straat wordt in Nederland berekend met rioleringsmodellen. Deze simuleren de werking van het rioleringsstelsel met aannamen voor verschillende invoervariabelen, zoals de neerslaghoeveelheid en de grootte van het aangesloten afvoerende oppervlak. Doordat modellen een vereenvoudiging van de werkelijkheid zijn en aannamen voor invoervariabelen worden gemaakt, zijn modelresultaten

onzeker, bijvoorbeeld de berekende hoeveelheid water op straat.

Als we rioleringsmodellen willen gebruiken om beheerders te assisteren in besluitvorming, is het belangrijk resultaten van deze modellen te vertalen naar gevolgen van water op straat. Voor een beheerder is niet zozeer de hoeveelheid water op straat relevant, maar juist de gevolgen ervan door waterschade, vermindering van comfort en gezondheidsschade. Deze gevolgen worden hier schaderisico's genoemd. Besluitvorming houdt in dit geval in: een afweging maken

Afb. 1: Relatie tussen water op straat, schaderisico's en afweging van maatregelen.



om regenwateroverlast tegen te gaan of te reduceren. Deze afweging wordt gemaakt op basis van risico's, kosten en baten van de maatregel en andere aspecten, zoals politieke druk.

Het is echter vrijwel onbekend wat de relatie is tussen de hoeveelheid water op straat, berekend met rioleringsmodellen, en de grootte van de genoemde schade-risico's. Doel van deze studie is dan ook inzicht krijgen in de huidige kennis over (onzekerheid in) schaderisico's als gevolg van regenwateroverlast, bepaald door middel van modelberekeningen. Dit als opstap voor een uitgebreidere studie naar de schadegevoeligheid van stedelijke gebieden in het kader van 'Klimaatbestendige Steden'. In afbeelding 1 is de relatie weergegeven tussen water op straat, schaderisico's en de afweging voor maatregelen.

Om het doel van deze studie te bereiken, worden drie stappen gevolgd:

- verkennen van de onzekerheidsmarge rondom het modelleren van water op straat middels een gevoeligheidsanalyse;
- verkennen van huidig inzicht in de relatie tussen water op straat en schaderisico's, onderbouwd met literatuur;
- uitwerken van de relatie tussen water op straat en schaderisico's in een praktijkvoorbeeld. Dit wordt gedaan met eenzelfde casus als in de eerste stap.

Het studiegebied ligt in delen van Den Haag, Rijswijk en Wateringen (zie afbeelding 2). Deze casus is gekozen, omdat hiervan een goed werkend rioleringsmodel van de gemeente Rijswijk beschikbaar is.

Het rioleringsmodel wordt doorgerekend met het modelinstrumentarium SOBEK-Urban. Dit bevat twee componenten: het neerslagafvoermodel en een ééndimensionaal model voor de waterstroming in de rioolbuizen. De uitvoer van de eerste component (rioolinloop) is de invoer voor de tweede component. Omdat gerekend wordt met een ééndimensionaal rioleringsmodel, wordt geen rekening gehouden met stroming van water over straat. Resultaten als duur en omvang van water op straat zijn dus hooguit een indicatie voor de werkelijke overlast¹⁾. Software waarmee het bergen en afvoeren van water op straat wordt



Afb. 2: Locatie onderzoeksgebied.

gesimuleerd, is beschikbaar²⁾, maar wordt in Nederland nog weinig ingezet.

Water op straat en onzekerheid: een gevoeligheidsanalyse

Om te schatten hoe het volume water op straat beïnvloed wordt door onzekerheid in waarden van variabelen, kan een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd. Dat is in deze studie gedaan voor verschillende variabelen. De volgende stappen zijn gevolgd:

- het kiezen van variabelen en bepalen van onzekerheid daarin;
- een rioleringsmodel doorrekenen met verschillende combinaties van waarden van variabelen;
- het bepalen van twee uiterste resultaten die een beeld geven van een onzekerheidsmarge en in deze studie beschouwd worden als het beste en het slechtst denkbare scenario.

Variabelen en onzekerheid

Zes variabelen zijn gekozen en daarvan is de onzekerheidsmarge geschat (zie tabel). Hierbij is getracht te kiezen voor onzekerheidsmarges die - op basis van ervaring - realistisch worden geacht.

De gekozen regenbui om het rioleringsysteem mee door te rekenen, heeft een duur van één uur en een herhalings-tijd van eens

in de 50 jaar. De wijze van neerslagverdeling over dit uur komt overeen met 'standaard bui 10' uit de Leidraad Riolerings. De neerslag-intensiteit van deze standaardbui is aangepast³⁾ om zo een bui te construeren met een herhalings-tijd van eens in de 50 jaar. Per berekening wordt de variatie in waarden van variabelen homogeen over het rioleringsmodel verdeeld.

Rekenen met rioleringsmodel

Voor elke afwijking per variabele is het rioleringsmodel doorgerekend. Het rioleringsmodel berekent in deze studie het volume water op straat op iedere inspectieput. Per berekening is het 'maximaal totaalvolume water op straat' berekend. De resultaten zijn vervolgens weergegeven als de procentuele af- of toename van 'maximaal totaalvolume water op straat', ten opzichte van de berekening van de referentiewaarde. De resultaten tonen dat de hoeveelheid water op straat het gevoeligst is voor de gekozen variatie in omvang verhard oppervlak (-66 tot +79 procent), ruwheid van de rioolbuizen (-10 tot +6 procent) en de hoogte van de overstortdrempels (-7 tot +9 procent). Voor de overige variabelen uit de tabel is het volume water op straat nauwelijks gevoelig (afwijking minder dan één procent).

Om inzicht te krijgen in het effect van gecombineerde onzekerheid op de hoeveelheid water op straat, is de onzekerheid van enkele variabelen gecombineerd doorgerekend. De gekozen variabelen zijn de hierboven genoemde variabelen, waarvoor de hoeveelheid water op straat het gevoeligst is. De rekenresultaten tonen een afwijking in het volume van -81 tot +113 procent, ten opzichte van de referentieberekening.

Bepalen van twee uiterste resultaten

De afwijkingen van -81 tot +113 procent worden in deze studie beschouwd als het beste en slechtst denkbare scenario voor water op straat, en geven een beeld van de onzekerheidsmarge.

Deze rekenresultaten zijn geografisch weergegeven in afbeelding 3.

Variabelen en afwijking in waarde ten opzichte van de referentiesituatie.

parameter	referentie	ondergrens	bovengrens
verhard oppervlak	677 ha	-30 %	+30 %
infiltratiecapaciteit verhard oppervlak	2 mm/h	-50 %	+50 %
bergingsoppervlakte per inspectieput	50 m ²	50 m ²	100 m ²
ruwheid rioolbuis	3 mm	1 mm	5 mm
pomp-capaciteit (gesommeerd)	1,57 mm/h	-20 %	+20 %
hoogte overstortdrempel	locatieafhankelijk	-20 cm	+20 cm

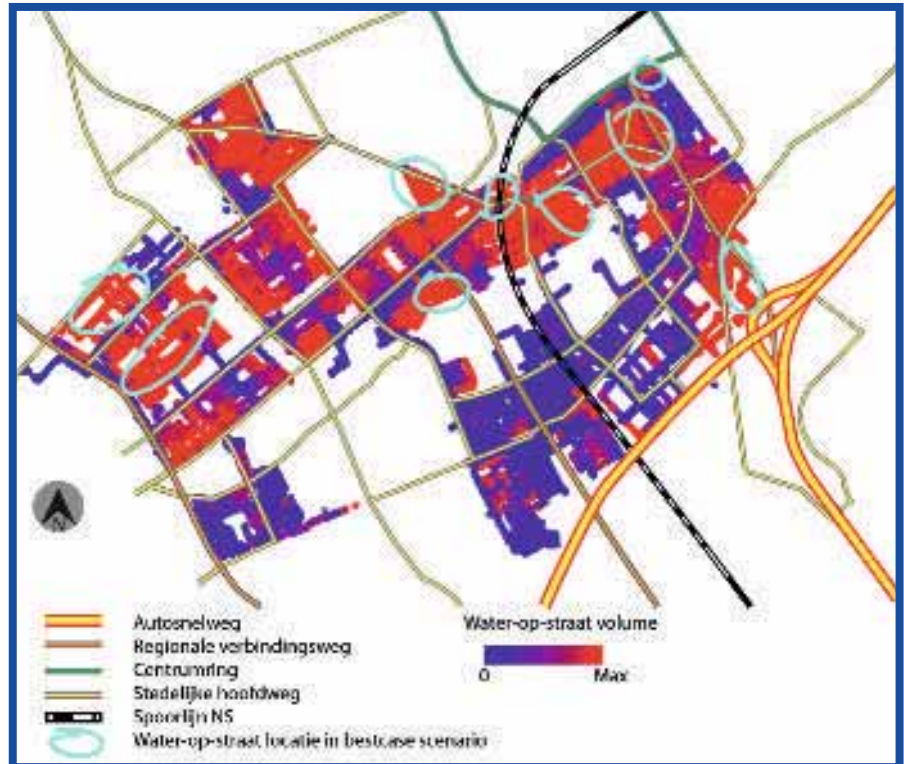
Schaderisico's

Risico's van water op straat kunnen zijn: de kans op kosten door allerlei waterschade, de mogelijke vermindering van comfort en mogelijke gezondheidsschade. Deze risico's worden hier schaderisico's genoemd. Als het gaat om het nemen van beslissingen ten aanzien van regenwateroverlast, zijn deze drie schaderisico's voor beheerders waarschijnlijk het meest relevant. De schaderisico's zijn afgeleid uit wat gemeenten in de praktijk als regenwateroverlast beschouwen. Deze typen regenwateroverlast zijn⁴⁾: water in vastgoed, omhoog komende putdeksels, overlopende toiletten, afvalwater op straat en overstromende infrastructuur (verkeersroutes, tunnels en winkelstraten).

Kosten door waterschade aan woningen zijn uitgewerkt voor overstromingen vanuit zee en rivieren^{5),6),7)}. In deze studies zijn schadefuncties voor woningen gedefinieerd die een relatie beschrijven tussen waterdiepte en schade. Deze schadefuncties zijn vooral toepasbaar voor waterdieptes van één tot meerdere meters. Voor water op straat (waterdiepte van tien tot 50 cm) zijn deze functies wellicht onbetrouwbaar. Desondanks zijn deze schadefuncties de enige methoden om schade door overstroming te berekenen. Ten Veldhuis⁸⁾ heeft op basis van Apel *et al.*⁵⁾ en Gersonius *et al.*⁶⁾ een overzicht gegeven van de schadekosten voor vastgoed als gevolg van ondergelopen straten. Per woning bedraagt de kostenspreiding 1.000 tot 30.000 euro; per bedrijf is deze spreiding 2.000 tot 30.000 euro. Deze cijfers geven enkel een indicatie voor kosten door waterschade als gevolg van water op straat, omdat ze gebaseerd zijn op schadefuncties voor overstromingen vanuit zee en rivieren.

Behalve schade aan bebouwing kan ook schade optreden aan openbare en nutsvoorzieningen. Deze schade is nog niet gekwantificeerd, maar zou een veelvoud kunnen zijn van de schade aan vastgoed. Ook kan indirecte schade ontstaan door water op straat, zoals vermindering van arbeidsuren door verkeersstremmingen. Deze indirecte schade is evenmin gekwantificeerd. Naast directe schade kan ook schade optreden aan het leefcomfort van mensen. Comfort is een subjectief begrip en is moeilijk meetbaar. Tot dusver is nauwelijks onderzoek verricht naar de relatie tussen water op straat en comfort. Mogelijke indicatoren voor comfort zijn overlopende toiletten, de droogtijd van een woning na een overstroming en vermindering van mobiliteit door verkeersstremmingen.

Een derde schaderisico door water op straat is kans op gezondheidsschade. Water uit de gemengde riolering kan fecale micro-organismen bevatten die schadelijk zijn voor de fysieke gezondheid⁹⁾. Consumptie van dit water kan leiden tot maagdarmsstoornissen. De indicator voor fysieke gezondheidseffecten is de concentratie pathogenen in water op straat. Dit gezondheidsrisico is door Ten Veldhuis⁸⁾ uitgewerkt, maar wordt hier buiten beschouwing gelaten. Het is aannemelijk dat het gezondheidsrisico recht evenredig toeneemt met de oppervlakte van



Afb. 3: Water op straat in het slechtst denkbare scenario in het studiegebied; het maximaal volume per inspectieput staat voor meer dan 25 kubieke meter. Blauw omcirkeld zijn die gebieden die ook in het meest gunstige scenario water op straat mogen verwachten. De ligging van infrastructuur is gebaseerd op Google (2010).

water op straat in een gebied, mits bevolkingsdichtheid en type bebouwing redelijk homogeen zijn.

Een praktijkvoorbeeld

Ondanks de grote onzekerheid in de relatie tussen water op straat en de grootte van schaderisico's, is getracht deze relatie uit te werken via een praktijkstudie. Kosten door waterschade aan vastgoed zijn geschat door het aantal panden waar wateroverlast optreedt volgens het rioleringsmodel, te vermenigvuldigen met de kosten door waterschade per pand. De aantallen bedrijven en woningen zijn geschat met behulp van gemeentelijke gegevens van inwoner- en huizen aantallen per wijk en buurt. Vanwege de vele hoogbouw in het gebied is een schatting gemaakt van alleen de panden op de begane grond. De totale potentiële kostenspreiding veroorzaakt door waterschade aan vastgoed bedraagt daarmee 2,3 tot 540 miljoen euro. Dit is 3.700 tot 800.000 euro per hectare. Ter vergelijking, de gemiddelde WOZ-waarde per hectare sterk verstedelijkt gebied bedraagt circa vier miljoen euro¹⁰⁾.

De resultaten van het gebruikte rioleringsmodel kunnen nauwelijks vertaald worden naar schade aan comfort. Het rioleringsmodel berekent geen resultaten waaruit het overlopen van toiletten of de droogtijd van een woning zijn af te leiden. De modelresultaten kunnen voor comfort enkel een indicatie geven voor vermindering van mobiliteit door het optreden van verkeersstremmingen.

Het studiegebied kenmerkt zich door een groot en intensief gebruikt netwerk voor verkeer en vervoer (zie afbeelding

3). In het meest gunstige scenario worden in potentie enkele belangrijke wegen gestremd, maar is een algehele verkeersopstopping niet waarschijnlijk. In het slechtst denkbare scenario kan een algehele verkeersstremming wel optreden, inclusief stremming van het openbaar vervoer. Alleen de autosnelweg en spoorlijn in het gebied zijn verhoogd aangelegd en hebben daarom een laag overstromingsrisico. Daarentegen hebben tunnels een hoog overstromingsrisico.

Voor de kans op gezondheidsschade is de concentratie pathogenen in water op straat buiten beschouwing gelaten. Het gebied waar regenwateroverlast zou kunnen optreden in het slechtst denkbare scenario is ongeveer acht keer groter dan in het meest gunstige scenario. In het slechtst denkbare scenario wordt het potentiële gezondheidsrisico daarom acht maal groter aangenomen dan in het meest gunstige scenario.

Discussie

De onzekerheid in de relatie tussen de berekeningen van de hoeveelheid water op straat en de rioleringsmodellen met betrekking tot schaderisico's is groot. De resultaten van de praktijkstudie illustreren echter dat de rekenresultaten van de hoeveelheid water op straat zeer beperkt zijn te vertalen in schaderisico's. Alleen de kosten door waterschade aan vastgoed zijn kwantitatief te schatten.

De grote onzekerheid in de relatie wordt mede veroorzaakt door het rioleringsmodel. Dit is vooral geschikt om de werking van het rioleringsstelsel te simuleren. Het rioleringsmodel is minder geschikt om het volume water op straat te berekenen. Dit ligt ten grondslag aan de lastige vertaling van berekende resultaten naar schaderi-

sico's. De stromingsprocessen op straat kunnen met een ander type model beter beschreven worden. Maar het is de vraag in hoeverre dit zinvol is zolang de vertaling naar schade-risico's nog veel onzekerheid bevat.

Praktijkkennis over werkelijke regenwateroverlast in het studiegebied is niet in deze studie opgenomen. Resultaten van rioleringsmodellen alleen vormen niet de volledige basis voor het nemen van beslissingen ter reductie van regenwateroverlast. Meldingen van bewoners met daarin waarnemingen van regenwateroverlast zijn ook belangrijke bronnen van informatie om beslissingen op te baseren. In deze studie ligt echter de nadruk op de relatie tussen modelresultaten en schaderisico's. Want ook als een rioleringsmodel zonder onzekerheid water op straat zou kunnen berekenen, is de grote onzekerheid in de vertaling van deze resultaten naar schaderisico's nog steeds aanwezig.

De getoonde resultaten in de gevoeligheidsanalyse en praktijkstudie zijn specifiek voor het gebruikte rioleringsmodel, met de daarin gekozen waarden voor variabelen. Andere modellen voor andere gebieden kunnen wellicht beter scoren, maar de onzekerheden in schaderisico's blijven, waardoor de noodzaak van maatregelen vaak moeilijk goed te onderbouwen is.

Conclusie

Het doel van deze studie was inzicht krijgen in de huidige kennis over (onzekerheid in) schaderisico's als gevolg van regenwateroverlast, bepaald door middel van modelberekeningen.

Op dit moment is onvoldoende kennis beschikbaar om volumes water op straat te vertalen naar schaderisico's. Kosten door waterschade kunnen slechts zeer indicatief worden bepaald en de kosten van verminderd comfort en van gezondheidsschade zijn in het geheel niet in te schatten. Een verantwoorde afweging voor investeringen op basis van schaderisico's is daarom op basis van de huidige kennis nauwelijks te maken.

Om beheerders van relevante informatie te voorzien ten aanzien van regenwateroverlast, moet de nadruk niet alleen worden gelegd op het reduceren van onzekerheid in het huidige modelleren van water op straat. De stromingsprocessen kunnen desgewenst ook nu al beschreven worden met een ander type model. Reductie van onzekerheid in het kwantificeren van schaderisico's als gevolg van regenwateroverlast is, gezien de grootte van deze onzekerheid, minstens zo belangrijk. Het kwantificeren van schaderisico's zal de komende tijd verder onderzocht worden in het programma Kennis voor Klimaat (thema Klimaatbestendige steden).

LITERATUUR

- 1) Stichting RIONED (2004). Leidraad riolering: C2100 Rioleringsberekeningen, hydraulisch functioneren.
- 2) Meljer E. (2007). Wateroverlast in een model. Presentatie op de RIONEDdag 2007. WL|Delft Hydraulics.
- 3) Buishand A. en J. Wijngaard (2007). Statistiek van extreme neerslag voor korte neerslagduren. KNMI. Technisch rapport 295.
- 4) Stichting RIONED (2007). Onderzoek regenwateroverlast in de bebouwde omgeving.
- 5) Apel H., G. Aronica, H. Kreibrich en A. Thieken (2009). Flood risk analyses - how detailed do we need to be? Natural Hazards pag. 79-98.
- 6) Gersonius B., C. Zevenbergen, N. Puyan en M. Billah (2006). Efficiency of private flood proofing of new buildings - Adapted redevelopment of a floodplain in the Netherlands. Proceedings of FRIAR conference, UK.
- 7) Thieken A., M. Müller, H. Kreibrich en B. Merz (2005). Flood damage and influencing factors: New insights from the August 2002 flood in Germany. Water Resources Research.
- 8) Ten Veldhuis J. (2010). Quantitative risk analysis of urban flooding in lowland areas. PhD-thesis Technische Universiteit Delft.
- 9) Sterk G. (2008). Microbial risk assessment for pluvial urban flooding. MSc-thesis Technische Universiteit Delft.
- 10) Overring F. (2010). Nieuwegein: de werkplaats van Midden-Nederland: sociaal-economische visie op Nieuwegein. Rabobank Nederland, afdeling Kennis en Economisch Onderzoek.