

10 Nijmegen

Onderzoek naar mogelijkheden om wateroverlast modelmatig te analyseren in Nijmegen

Op 27 juni 2009 viel in Nijmegen een pittige bui met een herhalingstijd van eens per tien jaar. In delen van de stad ontstond wateroverlast, straten veranderden in snelstromende beken. De gemeente heeft direct zo veel mogelijk informatie verzameld over het verloop van de bui en de wateroverlast. Hierdoor was deze case zeer geschikt om de huidige mogelijkheden voor modelmatige analyse van wateroverlast te onderzoeken. In het onderzoek zijn vier modellen getest in combinatie met een 1D-rioleringsmodel. Daarnaast is de invloed van de aard van vier soorten neerslagdata (meters en radar) geanalyseerd. Combinatie van de neerslagbronnen en de modellen leverde 16 varianten op, die allemaal zijn doorgerekend. De uitkomsten zijn getoetst aan metingen in het rioolstelsel en water-op-straatwaarnemingen in het studiegebied. Hieruit blijkt dat modelmatige analyse van wateroverlast goed mogelijk is met hoogwaardige radardata en gedetailleerde rekenmodellen.

Inhoud

10.1 Aanleiding en aanpak

10.2 Documenteren extreme bui

10.3 Aanpak analyse mogelijkheden rekenmodellen

10.4 Resultaten toetsing aan water op straat

10.5 Resultaten toetsing aan hydraulische metingen rioolstelsel

10.6 Conclusies

Literatuur

Auteurs

dr. ir. Jeroen Langeveld (Royal HaskoningDHV/TU Delft), jeroen.langeveld@rhdhv.com

ing. Bram Stuurman (Royal HaskoningDHV), bram.stuurman@rhdhv.com

Eduard Schilling (gemeente Nijmegen), e.schilling@nijmegen.nl

10.1 Aanleiding en aanpak

De gemeente Nijmegen meet en monitort al enkele jaren het rioolstelsel. De meetgegevens heeft zij gebruikt om het rioleringsmodel te toetsen en verbeteren (*Langeveld et al., 2009*) in het kader van een optimalisatiestudie van het afvalwatersysteem (OAS).

Hierdoor heeft de gemeente een behoorlijk goed beeld van het functioneren van het rioolstelsel onder normale condities.

Op zaterdagmiddag 27 juni 2009 viel in Nijmegen een pittige zomerbui met een herhalingsdij van ongeveer eens per tien jaar ($T=10$). In delen van de stad heeft deze bui tot wateroverlast geleid. Ter vergelijking: rioolstelsels worden in Nederland ontworpen om een bui met een herhalingsdij van eens per twee jaar ($T=2$) zonder water op straat te kunnen verwerken. De bui op 27 juni 2009 liet zien dat in delen van Nijmegen onder extremere condities wel water op straat blijft staan.

| 105

Modelmatige analyse wateroverlast

De gemeente Nijmegen is direct aan de slag gegaan om zo veel mogelijk gegevens te verzamelen over het verloop van de bui van 27 juni 2009 en de wateroverlast (*Zuurman en Schilling, 2009*). Hierbij bleek dat internet en sociale media zoals YouTube veel bruikbare informatie kunnen opleveren voor de analyse van wateroverlast. De inzameling heeft een schat aan gegevens opgeleverd (*Langeveld en Schilling, 2010*). Hierdoor is de case Nijmegen zeer geschikt om de huidige mogelijkheden voor modelmatige analyse van wateroverlast te onderzoeken.

Kortdurende, lokale, intense buien zijn een belangrijke oorzaak van regenwateroverlast (*Luijtelaar, van, 2013*). Bij dergelijke buien is vaak sprake van overbelasting van het rioolsysteem. Met de recente ontwikkeling van 2D-(af)stromingsmodellen gekoppeld aan 1D-rioleringsberekeningen is het in theorie mogelijk gebeurtenissen te modelleren die het rioolstelsel en/of de kolken overbelasten. Het goed kunnen modelleren van straatkolken kan van groot belang zijn voor situaties en gebieden waar de inloop naar het riool via de straatkolken de limiterende factor is. Bij de bui van 27 juni 2009 bleken de maaiveldhelling en de neerslagintensiteit de bepalende factoren (*Zuurman, 2013*).

Aanpak

Dit artikel beschrijft hoe de gemeente Nijmegen relevante informatie over de bui van 27 juni 2009 heeft verzameld en vastgelegd. Daarna gaan we in op de vraag of met de huidige beschikbare rekenmodellen en neerslaginformatie lokale wateroverlast bij korte, hevige buien te berekenen en analyseren is. De best beschikbare informatie op dit moment omvat lokaal gekalibreerde regenradardata met een ruimtelijke resolutie van 1 km^2 en een tijdsresolutie van 5 minuten (*Reichard et al., 2011*).

10.2 Documenteren extreme bui

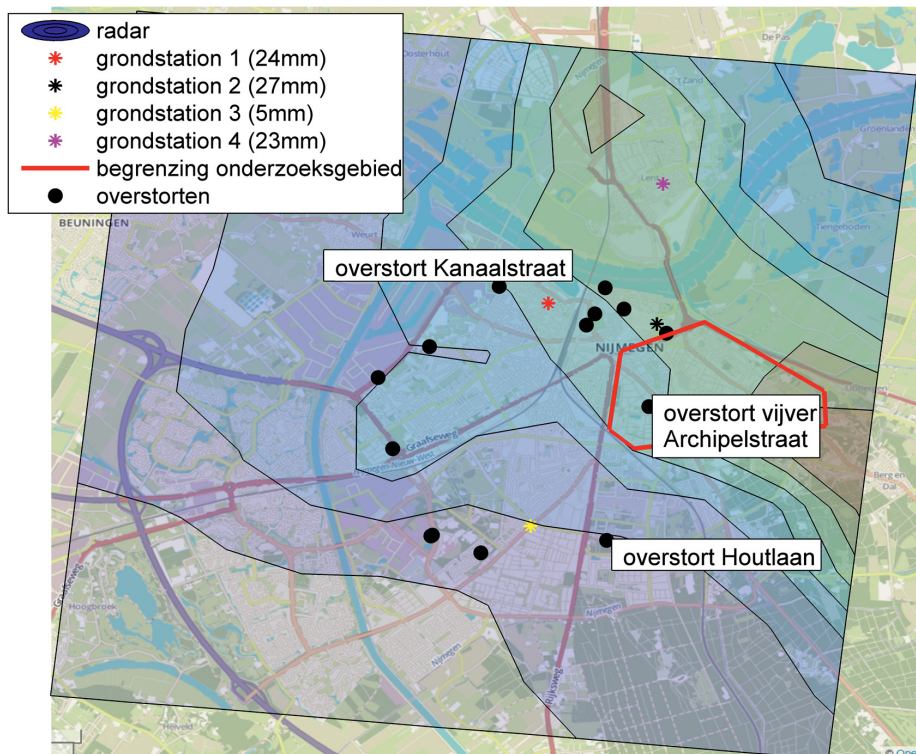
Om de beschikbare informatie vast te leggen, zijn de volgende informatiebronnen gebruikt:

- neerslagmetingen uit meetnet gemeente;
- niveaumetingen uit meetnet gemeente en bij gemaal waterschap;
- debietmetingen bij hoofdgemaal waterschap;
- beeldmateriaal van internet (o.a. YouTube);
- regionale media op internet (o.a. de website van De Gelderlander);
- veldbezoek tijdens bui (zaterdag 27 juni 2009);
- meldingen wateroverlast bij gemeente, brandweer, waterservicepunt en ontstoppingsbedrijven;
- veldbezoek maandag 29 juni 2009.

106 |

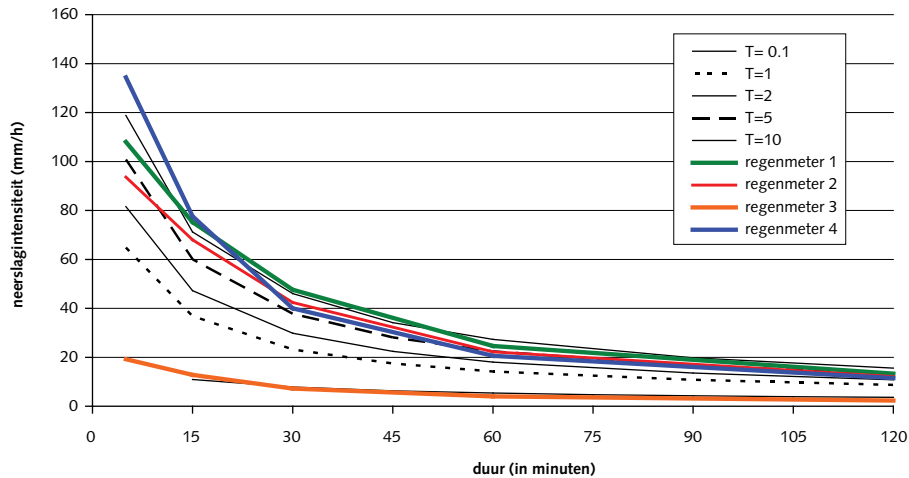
Neerslagmetingen

De gemeente Nijmegen had in 2009 vier regenmeters verspreid over de stad (zie figuur 10.1). De groene stippen in de figuur zijn locaties van de riooloverstorten.



Figuur 10.1 Ruimtelijke variatie neerslag en studiegebied met wateroverlast.

De bui van 27 juni is globaal van zuid naar noord getrokken, vooral over het oostelijk deel van de stad. De neerslag had een sterk lokaal karakter. In figuur 10.2 is te zien dat drie neerslagmeters neerslag hebben gemeten die overeenkomt met een bui T=10. Bij de andere neerslagmeter, die net buiten de kern van de bui lag, was slechts sprake van een BUI T=0,5.



Figuur 10.2 Neerslagintensiteitsduurcurven voor gemeten neerslag.

Niveaumetingen

De gemeente Nijmegen heeft een meetnet dat onder meer de waterstanden meet en registreert bij alle overstorten en bij de meeste bijzondere constructies, zoals interne bergingsvijvers.

Beeldmateriaal

Direct na de bui verschenen op internet vele foto's en filmpjes van water dat over straat stroomt, de meeste via YouTube en de website van Omroep Gelderland. Deze beelden leveren behoorlijk 'harde' informatie op, doordat deze niet is gekleurd (behalve een soms licht cynische muzikale omlijsting als 'zachtjes tikt de regen...' van Rob de Nijs). De filmpjes maakten vooral duidelijk hoe snel na het begin van de bui sommige straten waren veranderd in snelstromende beken. Overigens blijven dergelijke beelden niet altijd voor langere tijd beschikbaar, dus is het belangrijk om relevante beelden kort na een gebeurtenis te verzamelen en op te slaan.

Reacties/discussies op internet

Op diverse internetfora is uitgebreid gechat over de wateroverlast. Deze informatie is veel meer gekleurd dan het beeldmateriaal, maar bevat ook concrete opmerkingen als: “in mijn straat was het water binnen 20 minuten weer verdwenen”. Dergelijke opmerkingen zijn erg handig om een goed beeld van de wateroverlast te krijgen.

Veldbezoek tijdens bui

Auteur Jeroen Langeveld woont in het deel van Nijmegen waar de bui overheen trok. Toen duidelijk was dat het echt een serieuze bui was, heeft hij een rondje door de stad gereden om te zien wat er aan de hand was. Dit veldbezoek bleek erg nuttig bij het interpreteren van de overige gegevens, omdat uit eigen waarneming is vastgesteld waar water over straat heeft gestroomd.

108 |

Meldingen wateroverlast

Bij deze bui zijn in totaal 193 meldingen van wateroverlast binnengekomen: 65 bij de meldkamer van de brandweer, 41 bij het gemeentelijke waterservicepunt of de gemeentelijke bel- & herstellijn en 50 bij ontstoppings- of schoonmaakbedrijven. 16 van de 193 meldingen zijn via meerdere kanalen gemeld. Het feit dat slechts 41 meldingen bij de gemeente binnenkomen, laat zien dat burgers niet goed weten dat de gemeente in dit soort situaties hun eerste aanspreekpunt is. Als de gemeente alleen zou afgaan op de meldingen die zij zelf binnenkrijgt, zou dus een beperkt beeld van de situatie ontstaan.

Waarnemingen achteraf

Auteur Eduard Schilling heeft op de maandagmorgen na de bui een ronde langs de belangrijkste locaties gemaakt. Toen waren de gevolgen voor het ontvangende oppervlaktewater en het leegpompen van ondergelopen kelders nog goed zichtbaar. In een fotoverslag heeft hij peilstijgingen achter overstorten in oppervlaktewater vastgelegd.



Figuur 10.3 Dode vissen (links) en vuilafzettingen na peilstijging in ontvangend oppervlaktewater (rechts).

Dit was eenvoudig door de goed zichtbare vuilafzettingen tot tientallen centimeters boven het normale waterpeil. Straten waar een paar dagen daarvoor het water door stroomde, bleken weer behoorlijk schoon.

10.3 Aanpak analyse mogelijkheden rekenmodellen

Om inzicht te krijgen in de mogelijkheden van de huidige generatie rekenmodellen, is een analyse uitgevoerd. Hierbij zijn vier varianten getest voor de modellering van het maaiveld, steeds in combinatie met een 1D-rioleringsmodel, gemodelleerd met Infoworks. Anders dan de modellen die *Van Dijk et al. (2012)* onderling hebben vergeleken, biedt het Infoworks-model wél mogelijkheden om de afstroming van water over straat naar (of langs) de straatkolken te simuleren.

| 109

Vier modelopties

De vier doorgerekende modelopties zijn:

- 1D/0D: standaardrekenmodel waarbij het stelsel water op straat boven de put bergt. Dit is de standaardrekenmethode in BRP's bij het doorrekenen van rioolstelsels.
- 1D/1D: methode 'overland flowpath', waarbij boven elke rioolbuis een straatprofiel wordt gemodelleerd waardoor water op straat ook over de straat kan stromen. Dit is een zeer eenvoudige methode die – behalve inspectieputdekselhoogten – geen detailgegevens over het maaiveld vereist.
- 1D/2D: een gedetailleerd terreinhoogtemodel om de stroming van water over straat te modelleren. Dit model is gebaseerd op zeer gedetailleerd en nauwkeurig vanuit de lucht bepaalde terreinhoogten (10 - 16 punten/m², standaardafwijking in hoogtemeting tussen 2,3 en 3,7 cm). Hierdoor geeft het een realistischer beeld van de stroming van water over straat.
- 1D/2D+: dit rekenmodel gebruikt het terreinhoogtemodel ook om de afstroming te berekenen. Hierdoor is ook het effect mee te nemen van regenwater dat in hellend gebied langs de straatkolken stroomt. Dit vereist wel dat het rekenmodel alle straatkolken en alle kolkleidingen meeneemt. De straatkolken zijn gemodelleerd met een vaste Q-h-relatie (*Martin, 2011*). Dit model is daarmee behoorlijk arbeids- en rekenintensief.

Vier soorten neerslagdata

Tegelijk wilden we inzicht krijgen in nut en noodzaak van het gebruik van de volgens RIONEDreks 16 best beschikbare neerslagdata. Daarom is ook de invloed van de aard van de neerslagdata geanalyseerd.

Voor de neerslag zijn de volgende vier soorten data gebruikt:

- 1 Vier lokale regenmeters van de gemeente Nijmegen (zie figuur 10.1). Deze regenmeters zijn van het type 'tipping bucket', met een resolutie van 0,2 mm en registratie per minuut. Dergelijke meters kunnen bij intensiteiten vanaf 80 mm/h een onderschatting van de neerslag van enkele procenten opleveren. Zoals in figuur 10.2 te zien is, overschreed de bui op 27 juni 2009 deze intensiteit. De regenmeters hebben dus waarschijnlijk een kleine onderschatting gegeven.
- 2 Radar 0: het samengestelde Nederlandse radarcomposiet (het gemiddelde van de radars van Den Helder en De Bilt), gecorrigeerd op basis van de neerslaggegevens van de 330 KNMI-dagstations. Dit is de basisradar, zoals veel leveranciers deze beschikbaar stellen.
- 3 Radar I: het radarcomposiet van de radar in Essen (Duitsland), gecorrigeerd op basis van neerslaggegevens van Duitse stations en de lokale Nijmeegse regenmeters. Hierbij is de methode van Brandes (*Goudenhoofd en Delobbe, 2009*) gebruikt om de neerslagradar aan lokale regenmeters op uurbasis te corrigeren. Dit is een maatwerkoplossing.
- 4 Radar II: het samengestelde Nederlandse radarcomposiet (Den Helder en De Bilt), gecorrigeerd op basis van de neerslaggegevens van de 330 KNMI-dagstations en de Nijmeegse regenmeters. Hierbij is de methode van Conditional Merging (*Goudenhoofd en Delobbe, 2009; Niet, de et al., 2013; Sinclair en Pegram, 2005*) gebruikt om de neerslagradar aan lokale regenmeters op 5-minutenbasis te corrigeren. Ook dit is een maatwerkoplossing.

110 |

Combinatie van de vier neerslagbronnen met de vier typen rekenmodellen levert 16 varianten op, die allemaal zijn doorgerekend. De kwaliteit van de modeluitkomsten is getoetst aan de hand van metingen bij de overstorten in het gehele rioolstelsel en de water-op-sstraatwaarnemingen in het studiegebied uit figuur 10.1. De meeste riooloverstorten liggen langs de Waal en aan de lage westelijke kant van Nijmegen op een behoorlijke afstand van het wateroverlastgebied.

10.4 Resultaten toetsing aan water op straat

De invloed van het modelconcept is duidelijk zichtbaar in de water-op-sstraatkaarten (zie figuur 10.4). Deze kaarten zijn gebaseerd op berekeningen met radar type I, oftewel gekalibreerde regenradar uit Essen als input. De rode pijlen geven de waargenomen stromingsrichting aan van water over het maaiveld. Het terrein stroomt af van oost (45 m+NAP) naar west (30 m+NAP). In het traditionele modelconcept waarbij het stelsel water op straat boven de put bergt, blijft het water als het ware op de berg staan. De berekende water-op-sstraatlocaties komen daardoor nauwelijks overeen met de waarnemingen.

OD-maaiveld: traditioneel model

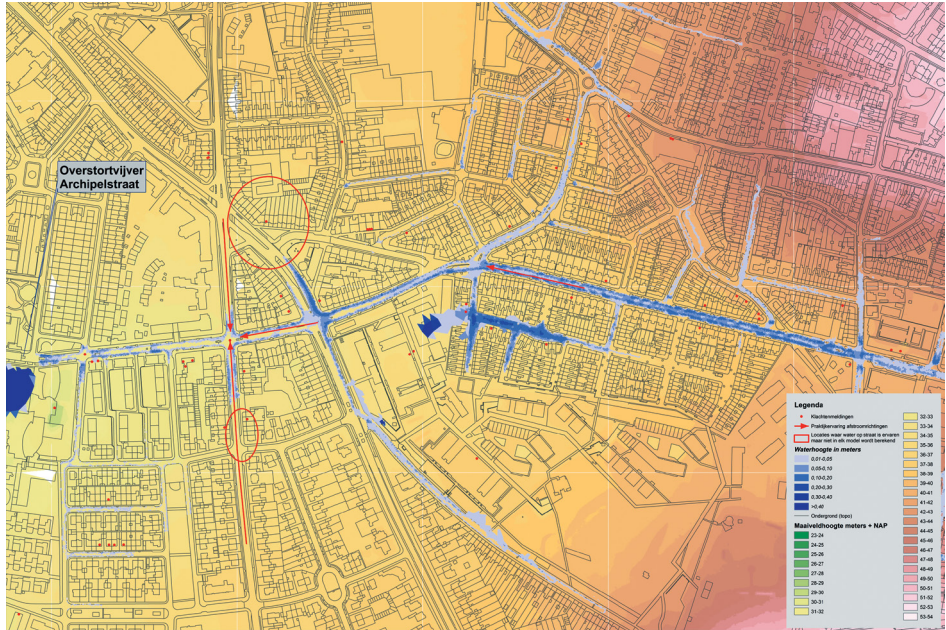


1D-maaiveld



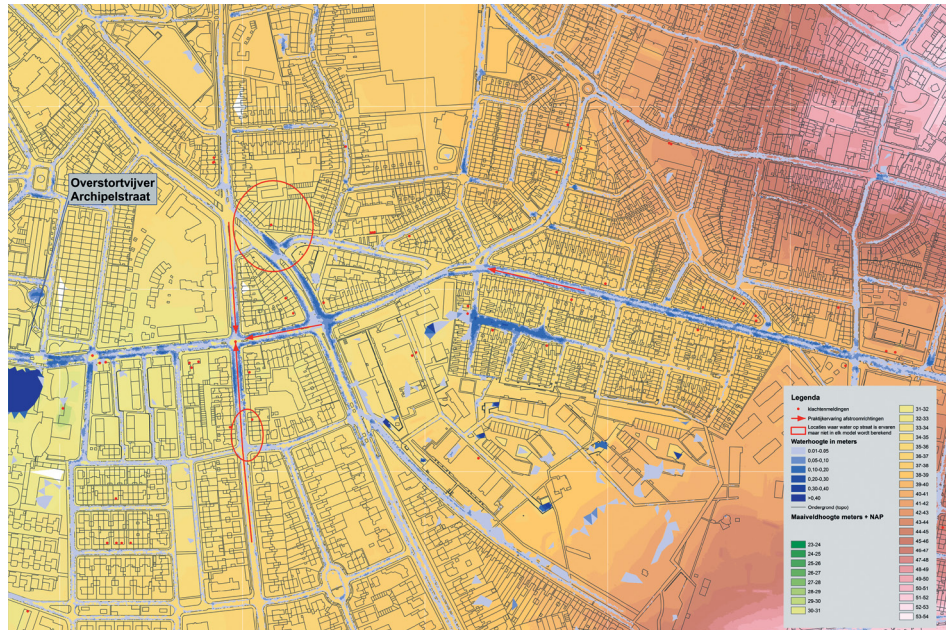
Figuur 10.4 Resultaten berekening water op straat bij vier verschillende rekenmodellen.

2D-maaiveld



112 |

2D-maaiveld + bovengrondse afstroming



Figuur 10.4 Resultaten berekening water op straat bij vier verschillende rekenmodellen (vervolg).

Het toevoegen van een 1D-model voor stroming over het maaiveld zorgt ervoor dat het water dat op straat komt te staan wel degelijk de heuvel afstroomt. Maar ook in dit geval komt het niet aan op de plaats waar dit is waargenomen. De introductie van een 2D-model voor de stroming over het maaiveld verbetert de resultaten significant. Het water volgt nu de route die ook in de praktijk is waargenomen. Daarnaast kloppen de berekende waterdiepten vrij goed met de waarnemingen en beschikbare foto-beelden. Maar op de locaties met een cirkel (in figuur 10.4) wordt geen water op straat berekend, terwijl dit daar wel optrad.

Het meest gedetailleerde 2D-model neemt ook de afstroming over straat mee. Dit model berekent ook voor de locaties binnen de cirkel water op straat. Daarnaast blijken deze resultaten het best te passen op de met rode stippen aangegeven locaties met een melding van wateroverlast.

| 113



Figuur 10.5 Foto wateroverlast Van 't Santstraat: straat verandert in 'beekje'.

Tabel 10.1 geeft een overzicht van de resultaten waarbij de invloed van het modelconcept en het type neerslagdata is getoetst aan de hand van de waarnemingen van water op straat en wateroverlast. Het modelconcept blijkt hier de bepalende factor te zijn, voor de gebruikte neerslag is het onderscheid tussen lokale regenmeters en lokaal gekalibreerde regenradar klein.

Tabel 10.1 Overzicht resultaten modelconcept en neerslagdata: resultaten modellering wateroverlast in studiegebied.

	0D-maaiveld	1D-maaiveld	2D-maaiveld	2D-maaiveld + afstroming
neerslagmeters	--	-	+	++
radar 0	--	-	+	++
radar I	--	-	+	++
radar II	--	-	+	++

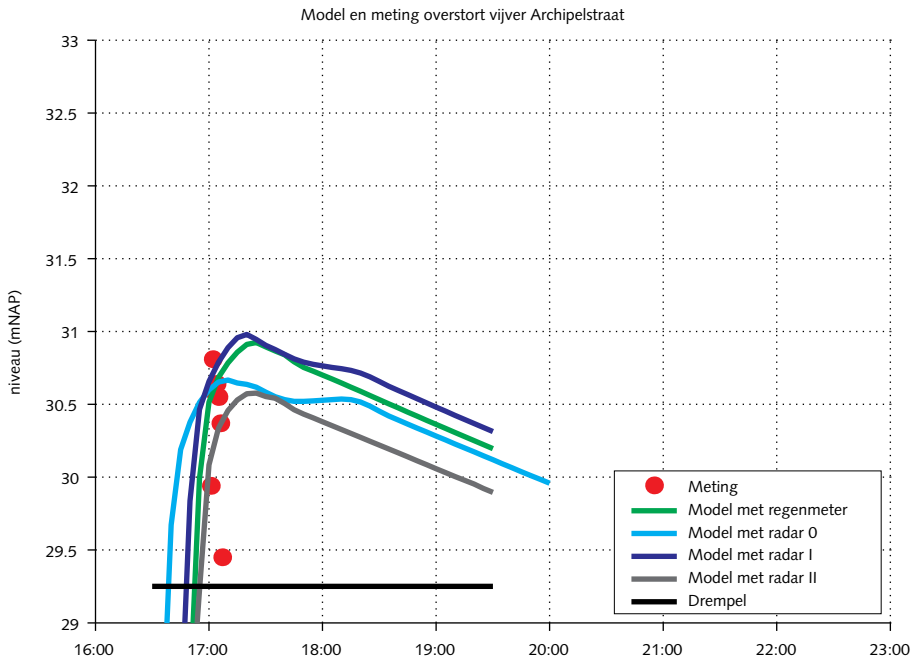
(- is negatief, 0 is neutraal en + is positief)

De resultaten berekend met de neerslagmeters en radar type I zijn vrijwel identiek. De resultaten met radar type II geven iets lagere waterstanden op straat, maar zonder dat het patroon zichtbaar verandert. Dit heeft waarschijnlijk te maken met het feit dat binnen en vlak naast het studiegebied regenmeters aanwezig zijn. Hierdoor zijn de verschillen in gebruikte neerslag in het studiegebied klein. Een andere oorzaak is wellicht dat de water-op-sstraatkaarten alleen de maximale waterstand tonen. De variatie in de tijd valt daardoor buiten beschouwing.

10.5 Resultaten toetsing aan hydraulische metingen rioolstelsel

De invloed van de verschillen tussen de gebruikte neerslagmeters en de drie radarversies komt vooral naar voren in de vergelijking van gemeten en berekende waterstanden bij de riooloverstorten. Figuur 10.6 toont de waterstanden bij de overstort Archipelstraat, die zich naast de overstortvijver uit figuur 10.4 bevindt. De modelresultaten in deze figuur zijn berekend met het meest gedetailleerde type rekenmodel: 2D maaiveld en afstroming via het maaiveld. De gemeten waterstand biedt hier alleen een indicatie, omdat de sensor na een aantal metingen ophield met meten. De verschillen tussen de vier modelresultaten zijn aanzienlijk.

114 |



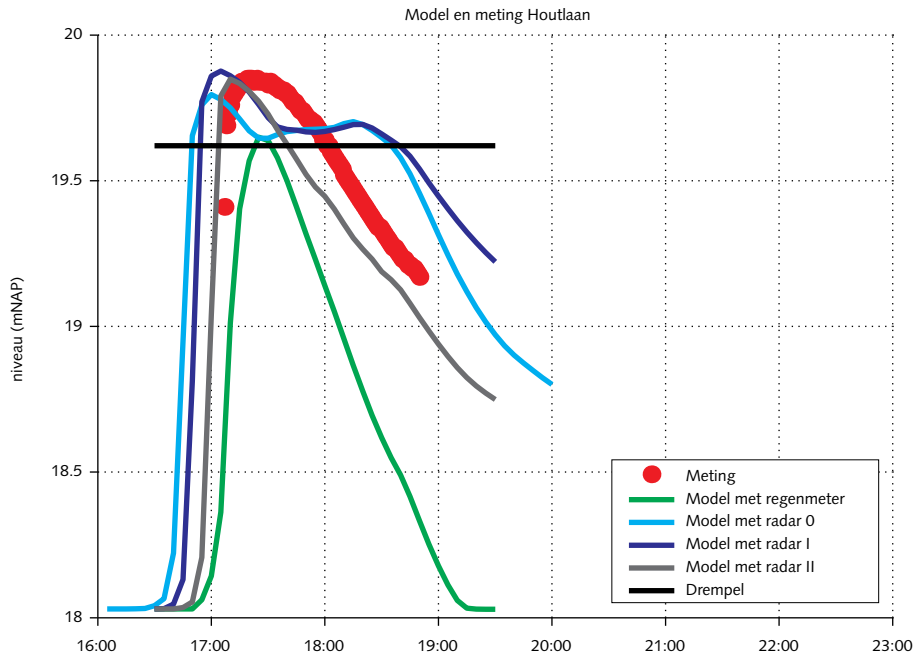
Figuur 10.6 Vergelijking rekenresultaten bij gebruik verschillende bronnen voor neerslagdata.

Figuren 10.7 en 10.8 tonen de rekenresultaten voor een overstort nabij het eindgemaal (Kanaalstraat, zie figuur 10.1) en een overstort in het zuiden van het rioolstelsel (Houtlaan, zie figuur 10.1). Op deze locaties zijn wel betrouwbare metingen aanwezig, zodat hier wel een uitspraak is te doen over de kwaliteit van de modelresultaten. Uit beide figuren komt naar voren dat de modelresultaten bij gebruik van radar type 0 en type I qua timing en dynamiek minder goed passen dan de resultaten bij gebruik van de lokale regenmeters. Duidelijk zichtbaar in figuur 10.7 voor overstort Houtlaan is dat het gebruik van radar type 0 en type I leidt tot het uitsmeren in de tijd: het berekende waterniveau stijgt eerder en daalt later dan in de metingen. Bij overstort Kanaalstraat in figuur 10.8 geldt ook dat de overstortduur bij gebruik van radar type 0 en I wordt overschat.

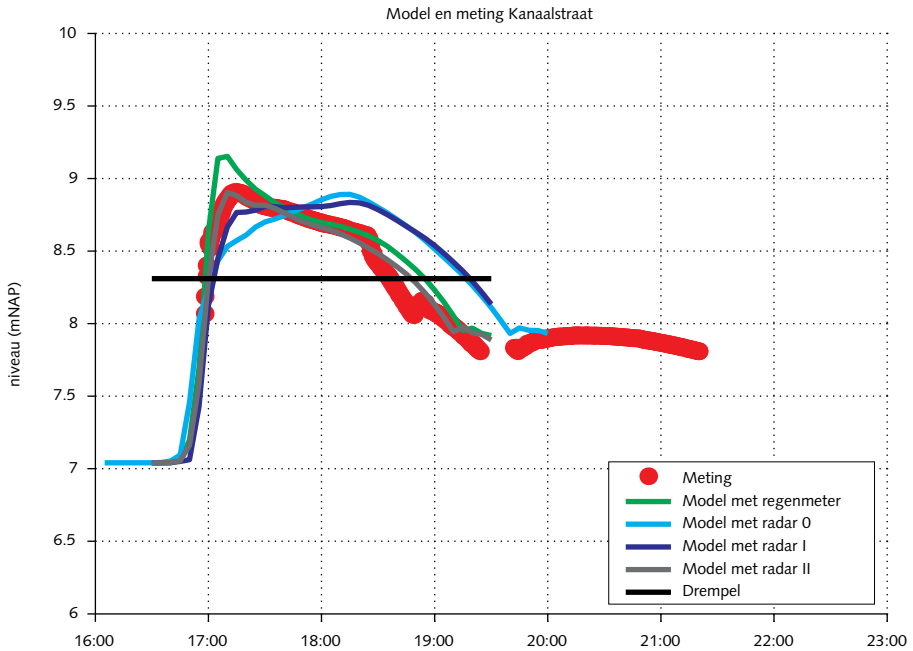
De toepassing van radar type II leidt overigens bij beide meetpunten tot de beste overeenkomst tussen berekende en gemeten waterstand.

| 115

Het gebruikte modelconcept heeft een beduidend kleinere invloed op de berekende waterstanden dan de gebruikte neerslagdata. Figuren 10.9 en 10.10 laten het effect van de modellen zien bij gebruik van de neerslagdata van radar type II, die de beste resultaten geeft. Bij overstort Archipelstraat, aan de rand van het gebied met wateroverlast,



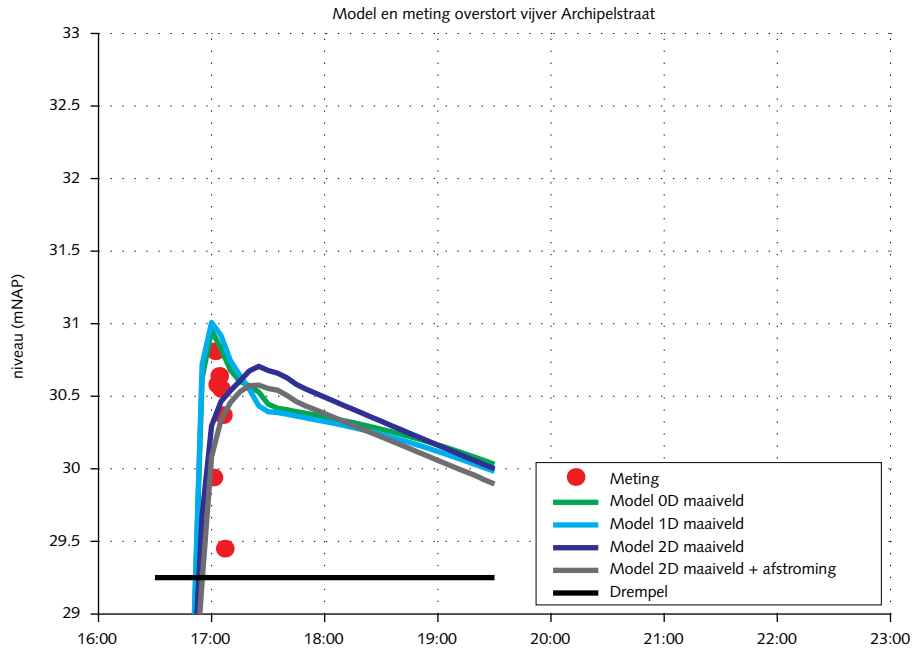
Figuur 10.7 Berekende en gemeten waterstanden bij overstort Houtlaan bij gebruik van verschillende neerslagdata.



Figuur 10.8 Berekende en gemeten waterstanden bij overstort Kanaalstraat bij gebruik van verschillende neerslagdata.

zijn verschillen waarneembaar tussen de modelvarianten. De meest simpele modelvarianten (met 0D- en 1D-maaiveld) leiden tot hogere berekende waterstanden bij deze overstort. De meer geavanceerde modellen met 2D-maaiveld tonen een lagere piekwaterstand en iets grotere vertraging. Kennelijk kan het water in deze rekenmodellen makkelijker wegstromen over het maaiveld. Bij de overstort Kanaalstraat nabij het eindgemaal zijn nauwelijks meer verschillen waarneembaar in de waterstand berekend met de vier modelconcepten. De invloed van de schematisatie van de stroming over maaiveld heeft alleen duidelijke invloed binnen het hooggelegen deelgebied. In het benedenstroomse deel van het stelsel heeft dit nauwelijks invloed meer.

De invloed van het modelconcept en het type neerslagdata is getoetst aan de hand van metingen in het rioolstelsel. Tabel 10.2 geeft een samenvatting van de resultaten. Het gekozen modelconcept voor het berekenen van water op straat heeft slechts beperkte invloed, de gebruikte neerslagbron is de dominante factor.

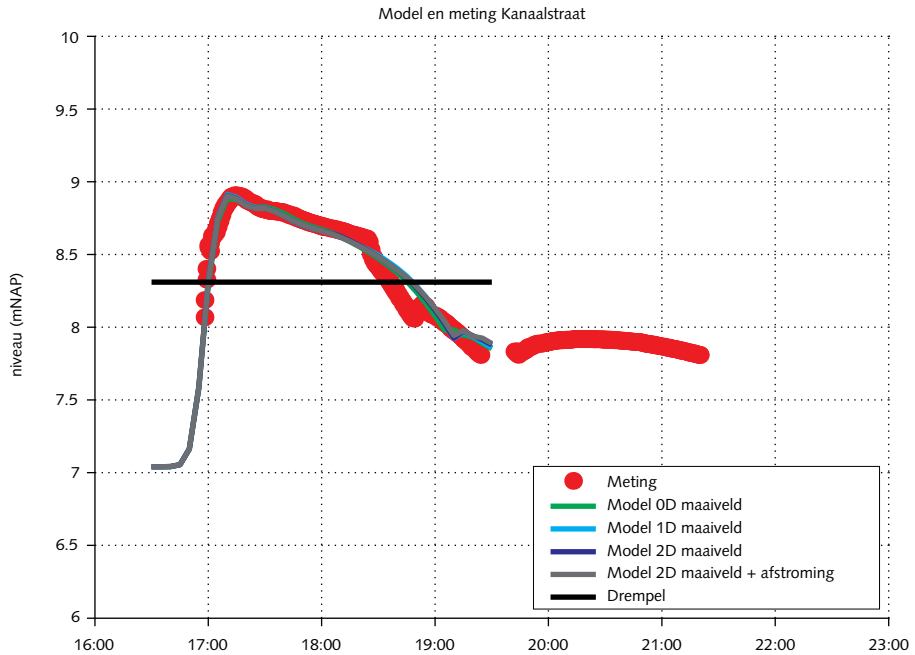


Figuur 10.9 Gemeten en berekende waterstanden bij de vier modelconcepten bij gebruik van neerslagdata radar type II bij overstort Archipelstraat.

Tabel 10.2 Overzicht resultaten modelconcept en neerslagdata: resultaten modellering hydraulisch gedrag geheel rioolstelsel.

	0D-maaiveld	1D-maaiveld	2D-maaiveld	2D-maaiveld + afstroming
neerslagmeters	+	+	+	+
radar 0	-	-	-	-
radar I	-	-	0	0
radar II	++	++	++	++

(- is negatief, 0 is neutraal en + is positief)



Figuur 10.10 Gemeten en berekende waterstanden bij de vier modelconcepten bij gebruik van neerslagdata radar type II bij overstort Kanaalstraat.

10.6 Conclusies

Extreme buien komen gelukkig niet heel vaak voor. Maar dit betekent ook dat de rioolstelselbeheerder nauwelijks kansen heeft om de kwaliteit van de rekenmodellen voor dergelijke situaties te toetsen en dat hij beperkt inzicht heeft in de reactie van het rioolstelsel op extreme neerslag. Zodra de kans zich voordoet, is het dus van groot belang alle beschikbare informatie te benutten om het inzicht in het functioneren van het stelsel te vergroten. Dit artikel heeft laten zien dat het beeldmateriaal dat 'spontaan' beschikbaar komt bij extreme buien in combinatie met doelbewust verzamelde meetdata een grote meerwaarde heeft bij de analyse van de effecten ervan. Dit maakt het mogelijk om indien gewenst gerichte maatregelen te definiëren.

Met de huidige stand van de techniek op het gebied van neerslaggegevens, neerslagradar en rekenmodellen is wateroverlast bij korte, hevige buien te modelleren en analyseren. De case Nijmegen heeft daarbij laten zien dat het belangrijk kan zijn om ook de stroming van neerslag over het maaiveld naar of juist langs de straatkolken mee te nemen in de modellering. Dit is alleen mogelijk met de gedetailleerde 2D-modellering van het maaiveld, inclusief het neerslagafvoerproces en de straatkolken. Juist bij korte, zeer

intense buien is dit vaak de bepalende factor voor zowel de locatie als de ernst van de overlast. Dit stelt forse eisen aan de kwaliteit van de ingemeten maaiveldgegevens en van de regendata. Lokale kalibratie van de regenradar aan neerslagmeters op 5-minutenbasis is daarbij een harde randvoorwaarde voor succes.

Dankwoord

De auteurs bedanken de gemeente Nijmegen voor het aanleveren van de benodigde data. Een deel van het gebruikte materiaal is afkomstig uit het HydroCity-project, zie www.hydrocity.com.

Literatuur

Niet, A. de, de Jonge, J., Korving, J., Langeveld, J., van Nieuwenhuijzen, A. (2012). *Het beste van twee werelden, correctie van neerslagradar op basis van grondstations voor toepassing in stedelijk gebied*. H₂O online 22 april 2013, 5 pages.

| 119

Dijk, E. van, van der Meulen, J., Kluck, J. en Straatman, J.H.M. (2012). *Vergelijking modelconcepten voor bepalen water op straat. Gevoeligheid voorspelling water op straat voor keuze modelconcept en parameterkeuze*. WT-Afvalwater jaargang 12, nr. 1. Februari 2012.

Goudenhoofd, E. & Delobbe, L. (2009), *Evaluation of radar-gauge merging methods for quantitative precipitation estimates*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 13, 195–203.

Langeveld, J. en Schilling, E. (2010). *'Extreme' neerslag en riolering in de praktijk: een 'T=10' in Nijmegen in beeld gebracht*. H₂O 23 – 2010, pp. 27-29.

Langeveld, J., Schilling, E., de Haas, P., en Reijnierse, M. (2009) *Integrale optimalisatiestudie van het afvalwatersysteem in Nijmegen*. H₂O 10 – 2009, pp. 30-34.

Luijtelaar, H. van (2013). *Inventarisatie regenwateroverlast in de bebouwde omgeving 2013*. RIONEDreks 17.

Martin, A. (2011). *Modelling Road Gullies*. In: proceedings of the 2011 International Flood and Modelling Conference.

Reichard, L., Clemens, F.H.L.R., Lobbrecht, A.H., Hartemink, J.W., Mantje, W., Poortinga, I.M. en Korving, J.L. (2011). *RIONEDreks 16, Neerslaginformatie voor het bebouwde gebied. Stand van zaken en ontwikkelingen*.

Sinclair, S. & Pegram, G. (2005) *Combining radar and rain gauge rainfall estimates using conditional merging*. Atmos. Sci. Let 6: 19-22.

Zuurman, A. (2013). *Rapportage macrospoor Nijmegen-Oost. Onderzoek oorzaken wateroverlast Corduwerstraat en omgeving in de openbare tuimte als gevolg van heftige neerslag 28 juli 2012*. Rapport gemeente Nijmegen 26-04 2013.

Zuurman, A.H.J. en Schilling, J.E. (2009). *Noodweer in Nijmegen op 27 juni 2009. Evaluatie werking riolering, infiltratievoorzieningen en inzicht wateroverlast/water op straat*. Rapport met kenmerk 09.0018118.