

---

# Stedelijk-hydrologische modellering

## Beleidsmatige problematiek, aanpak en eerste resultaten

Joost Heijkers en Teun Wendt

---

### Inleiding

Nederland is een dichtbevolkt land, dat echter voor zo'n 65% nog steeds uit landbouwgrond bestaat. Het areaal dat in beslag wordt genomen door stedelijke functies (bebouwing, parken, sportvelden et cetera) beslaat momenteel 13% van het totale areaal (Nota Ruimte, 2003). Echter, demografische prognoses wijzen duidelijk uit dat de urbanisatie met rasse schreden toeneemt. Dit geldt zeker voor de regio Utrecht (Nota Ruimte, 2003). Urbanisatie brengt op diverse terreinen problemen met zich mee. Een daarvan, voor ons van belang, is het terrein van het waterbeheer. De wateropgave en (grond)-wateroverlast in de stad dienen zich aan als complexe problemen, nu, maar zeker ook in de toekomst. Voor het beheers-gebied van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden is dit in nog sterkere mate het geval, omdat in de huidige situatie al 20% van het oppervlak wordt ingenomen door stedelijke functies. Voor HDSR is het daarom van groot belang om meer grip te krijgen op het stedelijk-hydrologisch systeem, wil ze de aan water gerelateerde problematiek in de bebouwde kom kunnen oplossen.

Als het om het hydrologische systeem gaat, hebben we het in dit artikel met name over:

- I Het ondiepe grondwaterstandsverloop;
- II De neerslag-afvoer dynamiek;
- III De stedelijke waterbalanscomponenten.

Punt I is direct gekoppeld aan grondwateroverlast. Punt II heeft alles te maken met de inundatierisico's en benodigde waterberging en punt III is vooral van belang voor vragen met betrekking tot waterkwaliteit. Aangezien de aandachtspunten zo ongeveer de hele breedte van het hydrologische spectrum beslaan, lijkt een integrale benadering van het grond- en oppervlaktewatersysteem gewenst. De vraag die we ons stellen is hoe we hier technisch-methodisch grip op kunnen krijgen. De juridische kant laten we hier, om het niet nog complexer te maken, buiten beschouwing. Uiteraard vormen metingen in het veld een eerste belangrijk uitgangspunt, maar die geven (bijna per definitie) een onvolledig beeld van de hydrologische dynamiek in ruimte en tijd. HDSR heeft daarom gekozen voor een gecombineerde model-monitoring aanpak. De combinatie bestaat eruit dat het model zal worden geconfronteerd met verschillende typen metingen (afvoer, aanvoer, waterstanden

---

**Joost Heijkers** is werkzaam bij Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden; heijkers.wjm@hdsr.nl; telefoon (030) 634 58 10. **Teun Wendt** is werkzaam bij Grontmij Nederland bv, Afdeling Water, teun.wendt@grontmij.nl; telefoon (030) 634 48 54.

en grondwaterstanden), waarna het op slimme wijze wordt geoptimaliseerd indien er sprake is van (significante) discrepanties. Het eerste stedelijke gebied waarmee het waterschap aan de slag is gegaan is de stad Utrecht (exclusief de Leidsche Rijn). Dit model wordt momenteel door Grontmij gemaakt. De doelstelling van dit artikel is het beschrijven van de gevolge aanpak bij de bouw van een stedelijk-hydrologisch model van de stad Utrecht. Wij menen dat dit interessant is, omdat gedetailleerde modelleringen van stedelijk gebied weinig voorkomen, zeker als ze het lokale niveau ontstijgen. We willen hier twee artikelen aan gaan weiden. Dit eerste artikel gaat met name over de beleidsmatige achtergrond, de te modelleren processen en enkele eerste rekenresultaten. In het tweede artikel willen we meer resultaten laten zien en evalueren wat de meerwaarde van de hele exercitie is. We zijn ons ervan bewust dat we dan een belofte in te lossen hebben, zeker tegen de achtergrond van het commentaar van de redactie dat dit in 50% van de gevallen toch niet gebeurt.

## Beleidsmatige problematiek

### GGOR

Het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) heeft met betrekking tot het Gewenste Grond- en Oppervlaktewaterstand Regime (GGOR) een duidelijke afspraak gemaakt:

*“De provincies stellen uiterlijk 2005 de kaders voor het gewenst grond- en oppervlaktewaterregime (GGOR) op, die ontleend zijn aan provinciale beleids- en streekplannen. Daarnaast coördineren en bewaken de provincies de procesgang voor het opstellen van het GGOR. Het waterschap stelt in de periode 2005-2010 het GGOR op in nauwe samenwerking met gemeenten, de grondwaterbeheerders en belanghebbenden. Het GGOR wordt opgenomen in het waterbeheerplan.”*

HDSR ziet de GGOR als een beleidslijn die stelt dat er op basis van een integrale belangen- en functieafweging keuzes moeten worden gemaakt door bestuurders tussen een aantal waterhuishoudkundige varianten. De uiteindelijk gekozen variant is de GGOR en die kan dan weer worden geformuleerd in termen van een inrichtings- en/of peilenplan. Gegeven deze definitie zou het dus raar zijn om de GGOR niet voor stedelijk gebied af te leiden. HDSR is hier dan ook mee gestart. Ook in stedelijk gebied is er sprake van meerdere functies en belangen en is er behoefte aan integrale inrichtings- en peilenplannen. Het opstellen van de GGOR betekent niet per definitie dat er een partij de verantwoordelijk op zich neemt voor de stedelijke wateroverlast! Wellicht is dit denkbeeld de reden waarom er zoveel verzet is tegen het opstellen van de GGOR voor stedelijke watersystemen. Verder maakt het niet uit of de GGOR wordt vastgesteld in een gebied met een grote stromingsweerstand tussen het grond- en oppervlaktewatersysteem. De essentie van GGOR zit hem in de integrale functie- en belangenafweging, in het leveren van gebiedsgericht maatwerk en het is ons inziens ook zeker geen synoniem voor grondwatergestuurd peilbeheer. Voor het leveren van dit gebiedsgerichte maatwerk is een vlakdekkend inzicht in de huidige waterhuishoudkundige toestand van de stad Utrecht noodzakelijk (AGOR). Ook moeten er inrichtingsvarianten (VGOR's) doorgerekend kunnen worden.

## *Stedelijke Wateroverlast*

Binnen stedelijk gebieden kan na een forse bui (eventueel in combinatie met een hoge grondwatestand en een maalstop), wateroverlast ontstaan, zowel vanuit oppervlaktewater dat buiten de oevers treedt, maar ook door een te beperkte afvoer van regenwater van verharde oppervlakten en vanuit het grondwater. Het NBW stelt dat het de gezamenlijke taak van de waterschappen, gemeentes en provincies is om deze problematiek in kaart te brengen, bijvoorbeeld in het kader van de gemeentelijke waterplannen. Daarbij dient niet alleen de huidige problematiek in kaart te worden gebracht, maar ook de toekomstige (onder invloed van klimaatverandering en bodemdaling), alsmede de mogelijke oplossingsrichtingen. Zowel voor de GGOR-bepaling als voor de stedelijke wateroverlastproblematiek is de inzet van modellen, ons inziens, noodzakelijk.

### **Technisch-methodische aanpak**

Zoals gezegd zal in dit artikel de case-studie Stad Utrecht worden gebruikt. Dit gebied is gekozen omdat er (1) relatief veel data beschikbaar zijn, er (2) een planproces loopt waar behoefte is aan hydrologische informatie, namelijk het gemeentelijke waterplan Utrecht en (3) het een relatief groot en complex gebied betreft. Zodoende kan, indien de modellering slaagt, niet door de sceptici (en dat zijn er nogal wat...) worden gezegd: 'Misschien lukt het voor een klein en simpel gebied wel, maar voor een echt groot en complex gebied wordt het toch een heel ander verhaal.' Dit laatste punt hopen we te tackelen door in elk geval een van de grootste steden van Nederland eerst bij de kop te pakken.

De modeldoelstelling kan als volgt worden gedefinieerd: "De bouw van een model waarmee de waterbalanscomponenten, de diepe en ondiepe grondwaterstroming, alsmede de neerslag-afvoerdynamiek (inclusief oppervlaktewaterstands-verloop) van de stad Utrecht op accurate en adequate wijze kunnen worden gesimuleerd."

Het integraal doorrekenen van zowel het grond- als oppervlaktewater is noodzakelijk, omdat het waterschap ook wil rekenen aan de faalkans van stedelijke gebieden. Dat willen zeggen: Wil rekenen aan de kans op het optreden van een bepaalde maximale grond- of oppervlaktewaterstand, gegeven een bepaalde herhalingstijd. Om deze kans te bepalen gebruikt het waterschap SIMGRO in combinatie met de zgn. stochasten-methode (Zie Veldhuizen & Van Walsum, (2005) voor een beschrijving van deze methodiek). AlterraAqua (zie [www.alterraqua.alterra.nl](http://www.alterraqua.alterra.nl) voor meer informatie), het GIS-pakket voor de pre- en post-processing van SIMGRO-modellen, heeft o.a. functionaliteit beschikbaar voor het bepalen van de faalkans op basis van de stochasten-methode. Deze faalkans kan worden bepaald op elke gewenste ruimteschaal, van stroomgebied tot polder en van peilgebied tot AHN-Pixel. Een AHN-pixel is onderdeel van het AHN (het Actuele Hoogtebestand Nederland), en is in feite een GRID-cel met een afmeting van 25 bij 25m, met een specifieke waarde, die de maaiveldshoogte representeert op dat punt of vlak in de ruimte (met een zekere (on)nauwkeurigheid).

Om uiteindelijk een werkend model op te kunnen leveren is er eerst een groot aantal technisch-methodische moeilijkheden te overwinnen, waarvan de volgende de belangrijkste

zijn:

- I Het kiezen van een adequate modelcode;
- II De diepe ondiepe bodemopbouw;
- III Het mozaïek van stedelijke gebruikersfuncties;
- IV De parametrisatie en conceptualisatie van het oppervlaktewatersysteem;
- V Het gebrek aan gegevens m.b.t. de ligging, hydraulische eigenschappen en onderhoudsstaat van drainagesystemen;
- VI De potentiële aanwezigheid van infiltrerende en drainerende rioleringsstelsels.

### *Keuze modelcode*

Voor het simuleren van hydrologische processen in het landelijk gebied gebruikt HDSR sinds 2000 de modelcode SIMGRO (zie voor een uitgebreide beschrijving Van Walsum e.a. (2004)), in combinatie met de nodige pre- en postprocessors. Het waterschap is tot die keuze gekomen, omdat de wens bestond om integraal te rekenen aan bodemvocht, oppervlaktewater en grondwater, zonder dat daarvoor diverse codes hoefden te worden gekoppeld. Het gebruik van een geïntegreerde modelcode als SIMGRO is te verkiezen boven een aantal codes die worden gekoppeld, omdat SIMGRO 'automatisch' rekening houdt met terugkoppelings-mechanismen tussen deelsystemen, doordat alle deelsystemen per rekenstap in balans worden gebracht, zonder ongevraagd water te creëren of af te voeren en rekening houdend met de relaties tussen berging en stijghoogte in grond- en oppervlaktewater en bodemvocht. En dit alles met weliswaar niet geringe, maar wel acceptabele rekestijden. Ter illustratie: het Stad Utrecht model is opgebouwd uit 7 lagen, en 24477 rekenknopen. Het rekent het grondwater- en bodemvochtsysteem door met een tijdstap van 0,25 dag en het oppervlaktewatersysteem met een tijdstap van 0,01 dag. De rekestijd bedraagt dan, bij een rekenperiode van 8 jaren, circa 8 uur om tot een oplossing te komen. Door het toepassen van slimme neerschalingstechnieken is het mogelijk om de uitvoer van het model, in termen van bv. een GHG-kaart of een inundatie-kaart, te presenteren per AHN-pixel, zonder dat er veel detail verloren gaat. Het daadwerkelijk rekenen op de 25x25m schaal levert, zo blijkt uit onderzoek van het waterschap, geen significant betere schatting van de GxG op.

Sinds 2000 is het instrument ingezet in het kader van de verdrogingsbestrijding (o.a. Grontmij, 2001), normering wateroverlast (o.a. Veldhuizen & Van Walsum, 2005) en de vaststelling van de GGOR (o.a. Hermans e.a. (2004)). Toen de noodzaak ontstond om ook voor het stedelijk gebied met modellen aan de slag te gaan is er opnieuw een kort onderzoek uitgevoerd om te komen tot een goede modelcode-keuze. Uiteindelijk is daar als keuze weer SIMGRO uitgerold, omdat met deze modelcode niet alleen integraal aan grond- en oppervlaktewater, alsmede bodemvocht en verdamping kan worden gerekend, maar ook het rioleringsstelsel op eenvoudige, maar adequate wijze kan worden geparаметriseerd en gesimuleerd (zie voor een uitgebreide beschrijving Van Walsum e.a. (2004)).

Voor het simuleren van de stedelijke interceptie en verdamping wordt in het kader van dit project de standaard-SIMGRO functionaliteit ingezet. In het kader van een samenwerkingsverband tussen HDSR, Alterra, TU Delft en UNESCO-IHE wordt op dit moment onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om het door Grimmond & Oke (1991) ontwikkelde stedelijke interceptie- en verdampingsmodel (of een op het Makkink-concept gebaseerde variant) om te bouwen tot een SIMGRO-module. In hoeverre het huidige SIMGRO-concept

de verdamping van stedelijk gebied accuraat berekent is op het moment van schrijven helaas nog niet bekend.

### *Diepe en ondiepe bodemopbouw*

Voor de beschrijving van de geohydrologie (in termen van de laagdiktes) is REGIS II (Verne en Van Doorn; 2005, in voorbereiding) gebruikt. Daaraan zijn de hydraulische eigenschappen (in termen van de c- en kD-waarden) van het in opdracht van HYDRON Midden-Nederland gebouwde VPC-model gekoppeld.

Voor de beschrijving van de deklaag is het door TNO-NITG ontwikkelde 3D-deklaagmodel gebruikt (zie Gunnink e.a. (2004) voor een beschrijving van de werkwijze), dat de opbouw van de deklaag, in termen van lithologie en hydraulische eigenschappen, beschrijft per 100x100m GRID, en met een verticale discretisatie van 20 tot 50cm. Dit model is gebouwd op basis van de inzichten en technieken beschreven in Bierkens, 1994, en Weerts, 1995. De auteurs realiseren zich terdege dat zelfs deze fijne horizontale en verticale schaal geen recht doet aan de werkelijke complexiteit van de deklaag. De bestaande boorgegevens en het beschikbare budget en tijd lieten echter geen fijnere schaal toe. Daarbij dient overigens ook te worden opgemerkt dat er bij de auteurs geen voorbeelden bekend zijn van nog gedetailleerdere deklaagmodellen.

Het beschrijven van de bodemopbouw van de stad Utrecht was lastig, omdat de meestal gebruikte bodemkaart 1:50.000 van STIBOKA niet te gebruiken was. Deze geeft immers geen inzicht in de bodemopbouw binnen de stedelijke gebieden. Voor de bodemopbouw is daarom uitgegaan van het 3D-deklaagmodel, in combinatie met de gemeentelijke gegevens met betrekking tot de opgehoogde gebieden.

Het is verder relatief lastig om een accuraat beeld te krijgen van het maaiveldshoogteverloop in stedelijk gebied. Diverse databronnen zijn uiteindelijk ingezet om tot een adequaat digitaal terrein model (DTM) te komen:

- I TOPHOOGTEMD (de terrestrisch ingemeten voorloper van het AHN);
- II Een gefilterde versie van het AHN (zie Te Stroet e.a. (2003) voor een beknopte beschrijving van de filter-methode);
- III Putdekselhoogtes van de gemeente Utrecht.

Deze verschillende basisbestanden, met ieder hun eigen schaal en nauwkeurigheid, zijn m.b.v. standaard GIS-functionaliteit omgebouwd tot een consistent DTM.

### *Landgebruik*

Het GBKN (Grootschalige Basis Kaart Nederland) is een basisbestand dat een bijzonder gedetailleerd inzicht verschaft in het mozaïek van stedelijke grondgebruiksvormen (bebouwing, straten, parken, open water et cetera). Zodoende kan per rekencel een goede inschatting worden gemaakt van de percentages verhard, onverhard en open water. De gebruikelijke basisbestanden (top10vlakken en het LGN), zo blijkt uit ervaring, zijn minder geschikt door de te grote onnauwkeurigheid (zie tabel 1 voor een duidelijke illustratie van deze claim). Een probleem met de GBKN is weer dat het een lijnenbestand is waar geen ruimtelijke analyses mee kunnen worden uitgevoerd. Het (handmatig) object-gericht maken van het bestand is een kostbare oplossing. Ondanks dat heeft het waterschap beslo-

ten het object-gericht maken van het GBKN uit te laten voeren. Ter vergelijking is voor een tweetal GRID's van 500x500m de percentages verhard en onverhard bepaald, zowel op basis van het GBKN, als op basis van de top10vlakken en de LGN. Tabel 1 laat de verschillen zien.

**Tabel 1:** Analyse percentages verhard, bebouwing en onverhard m.b.v. de GBKN, de top10vlakken en de GBKN.

Basisbestand: ↗	% Verhard	% Onverhard	% Bebouwing
GRID1: GBKN	44%	35%	21%
GRID1: Top10vlakken	84%	9%	7%
GRID1: LGN	6%	3%	91%
GRID2: GBKN	52%	25%	23%
GRID2: Top10vlakken	70%	16%	14%
GRID2: LGN	16%	17%	67%

Ervan uitgaande dat het GBKN zeer nauwkeurig is -en gegeven de kwaliteitseisen die gesteld worden aan dit bestand, alsmede toetsingen aan bv. luchtfoto's mag hier zeker van worden uitgegaan- kan niet anders dan worden geconcludeerd dan dat de top10vlakken en LGN niet geschikt zijn voor het schatten van de percentages verhard, bebouwd, onverhard en open water, per per SIMGRO rekencel en/of rioleringsdeelgebied. Een al dan niet foute schatting van deze percentages werkt op een aantal punten door in de uiteindelijke berekeningen:

- I Percentage verhard oppervlak per rioleringsdeelgebied, en aldus de belasting van het oppervlaktewatersysteem (via de RWZI's en overstorten);
- II Het percentage oppervlak waar een specifieke verdamping vanuit plaatsvindt;
- III De grondwateraanvulling.

### *Oppervlaktewatersysteem*

Het oppervlaktewatersysteem, dat bestaat uit kanalen, weteringen, grachten, perceelsloten en greppels, is gebaseerd op een aantal GIS-bestanden:

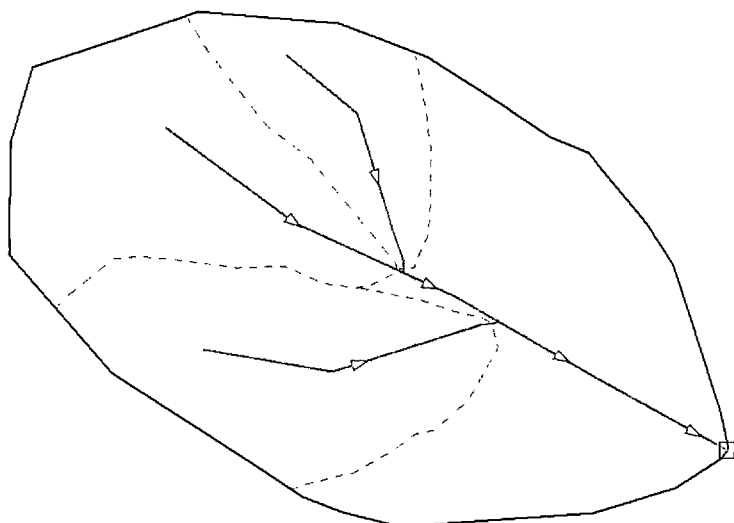
- I HDSR Legger & Beheerregister;
- II Top10lijnen & vlakken;
- III GBKN;

IV Gegevens van Rijkswaterstaat m.b.t. de dimensies van de kanalen en grachten.

Deze data is op basis van gesprekken met gebiedskenners en archiefonderzoek nog verder verbeterd en in het model ingebouwd in de vorm van  $Q(h)$ -relaties. De benadering in de vorm van  $Q(h)$ -relaties heeft als groot voordeel dat de berekende waterstanden bij de kunstwerken en per slootsegment en hoge mate overeenkomen met de waarde, berekend met bijvoorbeeld een hydrodynamisch model, zonder dat het probleem van de grote reken-tijden en numerieke instabiliteiten een rol gaat spelen. Deze  $Q(h)$ -relaties worden dan idealiter wel weer gebaseerd op rekenexperimenten met bv. de hydrodynamische model-code SOBEKcf. Dit werkt als volgt:

- 1 Per slootsegment wordt de afwateringseenheid (zie figuur 1) bepaald;
- 2 Vervolgens worden er 15 stationaire debieten doorgerekend, oplopende van 0,01 l/s/ha tot 3 l/s/ha;
- 3 Per stationair debiet wordt de evenwichtswaterstand bepaald;
- 4 De 15 debieten en evenwichtswaterstanden worden geclusterd tot een Q(h)relatie per slootsegment en per kunstwerk;
- 5 Deze Q(h)-relaties worden omgevormd tot een door SIMGRO te lezen tabel: op het moment dat er een afvoer naar een afvoervak wordt berekend gaat SIMGRO in de tabel na welke oppervlaktestand daarbij hoort.

Dit lijkt een (wellicht te) simpel concept, maar de ervaring leert dat het snel en accuraat rekt, mede omdat er slimme terugkoppelings-mechanismen zijn geprogrammeerd die het toelaten dat de stromingsrichting omdraait (bv. tengevolge van de inlaat van water) en dat er een backwater-effect optreedt, bij hoge afvoer op het bv. het hoofdsysteem, waardoor de afvoer vanuit zijstrengen stagneert.



**Figuur 1:** Peilgebied (dikke zwarte lijn) bestaande uit een aantal afwateringseenheden (gestippelde lijn), op peil gehouden door een stuw (= □).

### *Drainage*

De gemeentelijke archieven en basisbestanden zijn gebruikt om tot een drainage-bestand te komen dat te implementeren is in het SIMGRO-model. Daar het vaak voorkomt dat de riolering lek is, wat betekent dat er of drainage of infiltratie plaatsvindt, wordt ook die data verzameld om grip te krijgen op deze problematiek. Bij de opbouw van het drainage-bestand zijn in eerste instantie de gemeentelijke GIS-bestanden gebruikt. Die gaven echter een relatief beperkt beeld. Daarnaast is er een plausibiliteitstest gehouden, samen met gebiedskenners, werkzaam bij de gemeente en het waterschap. Tenslotte is de mate van lek (en aldus drainerend of infiltrerend vermogen) via de riolering geschat op basis van de

ouderdom van de riolering. Daarbij wordt aangenomen dat de riolering van circa voor 1960 à 1970 voorzien is van een koppeling die meer lekgevoelig is dan de riolering van recenter datum. De exacte drainageweerstand van de riolering is nauwelijks a priori in te schatten. De gevoeligheidsanalyse en calibratie moet uitwijzen of deze parameter een grote invloed heeft op de modeluitkomsten. Het moge duidelijk zijn dat de mate waarin dit lukt lokaal sturend kan zijn voor de accuraatheid waarmee o.a. de stedelijke rondwateraanvulling en aldus het freatisch grondwaterstandsverloop kan worden geschat. Zie verder ook Lerner (2002) voor een literatuuroverzicht van methoden en technieken om meer grip te krijgen op de stedelijke grondwateraanvulling.

### *Riolering*

HDSR gebruikt het op ArcView gebaseerde GIS-systeem INTWIS voor de opslag, beheer en analyse van geografische informatie. RIOKEN is een INTWIS-module waarin rioleringsgegevens kunnen worden opgeslagen, beheerd en geanalyseerd. De RIOKEN-database is gebruikt als basis om het rioleringsysteem te schematiseren binnen SIMGRO. Binnen SIMGRO dienen de volgende objecten te worden gedefinieerd:

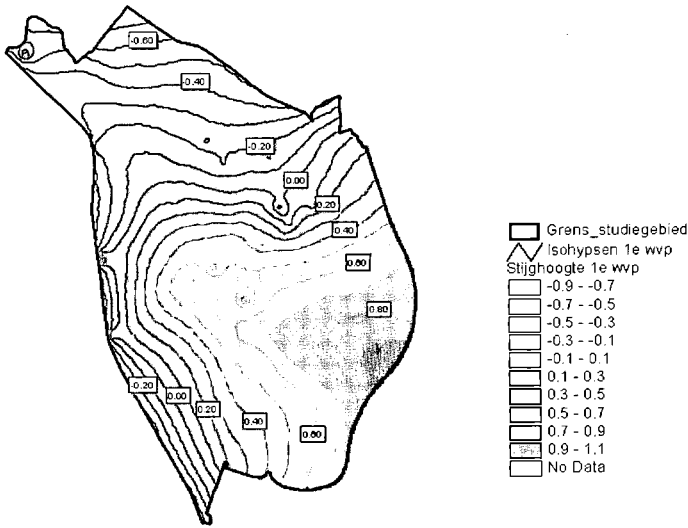
- I Rioleringsdeelgebieden (in termen van: locatie, percentage af- en aangekoppeld oppervlak, oppervlakte, statische berging, aantal inwoners en Pompoevercapaciteit (P.O.C.));
- II Overstorten (in termen van: locatie, relatie met rioleringsdeelgebieden en hoogte);
- III RWZI's (in termen van: locatie, lozingspunt, relatie met de rioleringsdeelgebieden en berging).

Voor de goede orde: er worden geen hydrodynamische berekeningen uitgevoerd, SIMGRO zorgt er enkel voor dat op adequate wijze de afvoer naar RWZI's en de overstorten en effluentlozingen op het oppervlaktewatersysteem wordt bepaald, wat, gegeven de modeldoelstelling meer dan voldoende is. De essentie is namelijk dat de waterbalans van het oppervlaktewatersysteem op orde wordt gehouden en als zodanig, door de koppeling van het oppervlaktewater-systeem met het grondwatersysteem, de waterbalans van het totale gebied. Overigens laat het SIMGRO-concept ook de interactie tussen grondwatersysteem en waterketen toe, doordat gerekend kan worden met infiltrerende en drainerende rioleringsystemen.

### **Eerste resultaten**

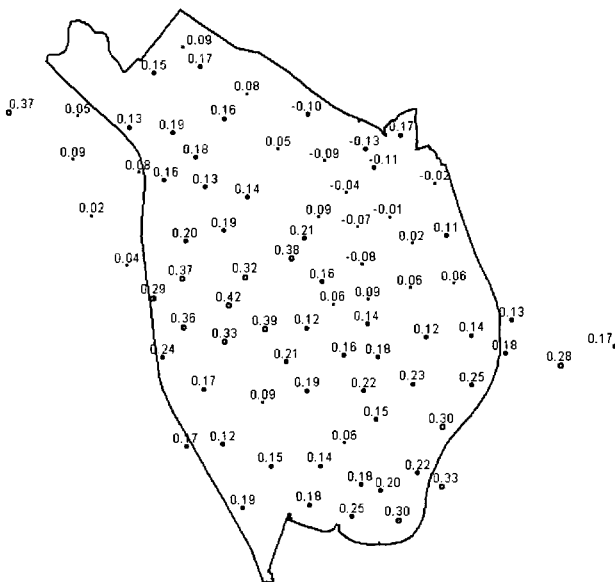
Met het ongekalibreerde model is een eerste berekening uitgevoerd. Deze berekening is gebruikt voor een plausibiliteitstest, samen met de medewerkers van gemeente Utrecht en de regiobeheerders van het waterschap. De daarbij gepresenteerde resultaten zijn de gemiddelde grondwaterstand en de GHG ten opzichte van maaiveld. Uit deze kaarten (die overigens niet in dit artikel staan weergegeven) blijkt duidelijk waar (te) natte of droge plekken worden berekend. Veelal kan hier direct van gezegd worden of dit reëel is op niet. Daarnaast is het isohypsenpatroon in het eerste watervoerend pakket gepresenteerd, zie figuur 2.





**Figuur 2:** Berekend Isohyphenpatroon.

Het grondwatermonitoring-systeem van de gemeente Utrecht heeft een groot aantal peilbuizen in het eerste watervoerend pakket staan. De berekeningsresultaten zijn vergeleken met deze meetgegevens. In figuur 3 zijn de gemiddelde afwijkingen (verschil tussen gemeten en berekende waarden) weergegeven.



**Figuur 3:** Verschil tussen de gemiddeld berekende en gemiddeld gemeten stijghoogte in het eerste watervoerende pakket (weergegeven per meetpunt).

Uit deze eerste vergelijking blijkt dat het model de stijghoogten nog circa 0,2 à 0,3 m structureel te hoog berekend. Toch is dit voor een eerste modelrun een hele acceptabele uitkomst. Met name doordat het een hele structurele afwijking is, moet hier in de kalibratiefase nog een duidelijke verbeteringslag gemaakt kunnen worden.

## Conclusies en vervolg-artikel

Er is een duidelijke beleidsmatige noodzaak om ook stedelijke watersystemen hydrologisch door te rekenen. Middels dit artikel is getracht een eerste inzicht te verschaffen in de gevolgde aanpak bij de bouw van een stedelijk-hydrologisch model voor de stad Utrecht. Ook zijn de eerste resultaten gepresenteerd, gebaseerd op berekeningen met een ongekalibreerd model. Die laten zien dat het accuraat rekenen aan de stedelijke hydrologie lastig, doch niet onmogelijk is. Randvoorwaarde is wel de beschikbaarheid van voldoende gegevens, die vaak in de gemeentelijke archieven wel te vinden zijn.

In het volgende artikel (Deel 2: Modeloptimalisatie, Uiteindelijke Resultaten & Gebruik Modeluitvoer) zullen de resultaten worden gepresenteerd (ook in termen van de discrepanties tussen gemeten en berekende freatische grondwaterstanden), gebaseerd op berekeningen met het gekalibreerde model. Veel aandacht zal worden geschonken aan de gevolgde modeloptimalisatie-strategie. Ook zal aandacht worden besteed aan de wijze waarop de modelgegevens verder zijn omgevormd tot kaartbeelden en zijn ingezet in het planproces (o.a. voor de bepaling van de AGOR en doelrealisaties).

## Literatuur

- Bierkens, M.F.P.** (1994) Complex confining layers: a stochastic analysis of hydraulic properties at various scales; proefschrift, Universiteit Utrecht.
- Grimmond, C.S.B. en T.R. Oke** (1991) An evaporation-interception model for urban areas; in: *Water Resources Research*, vol 27, pag 1739–1755.
- Grontmij** (2001) Verdrogingsonderzoek Groenraven-Oost. Grontmij, Houten.
- Gunnink, J.L., J.G. Veldkamp, D. Dam, H.J.T. Weerts en W. van der Linden** (2004) Deklaagmodel en geohydrologische parametrisatie voor het beheersgebied van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden; TNO-rapport 04-090-B0609, Utrecht.
- Hermans, A.G.M., P.E.V. van Walsum, J. Runhaar en P.J.T. van Bakel** (2004) Duurzame waterbeheer Landbroekerwetering; Fase 1: Modelbouw, calibratie en bepaling van het Actueel Grond- en Oppervlaktewaterregime; Alterra-rapport 914, Wageningen.
- Lerner, D.N.** (2002) Identifying and Quantifying Urban Recharge: A Review; in: *Hydrogeology Journal*, jrg 10, pag 143–152.
- Stroet, C.B.M. te en J.T. Buma** (2003) Grootschalige grondwatermodellering voor regionaal waterbeheer. Informatie, editie grondwater en bodem, nummer 13.
- Veldhuizen, A.A. en P.E.V. van Walsum** (2005) Faalkansanalyse Langbroekerwetering: een toepassing van de stochastische methode; in: *Stromingen*, jrg 11, nr 1, pag 5–22.
- Vernes, R.W. en Th.H.M. van Doorn** (2005, in voorbereiding) Van gidslaag naar hydrogeologische eenheid – toelichting op de totstandkoming van de datasets REGIS II; TNO-NITG, Utrecht.
- VROM** (2003) Nota Ruimte.

- Walsum, P.E.V. van, A.A. Veldhuizen, P.J.T. van Bakel, F.J.E. van der Bolt, P.E. Dik, P. Groenendijk, E.P. Querner en M.F.R. Smit (2004)** SIMGRO 5.0 Theory and model implementation; Alterra-report 913-1, Wageningen.
- Weerts, H.J.T. (1996)** Complex confining layers. Architecture and hydraulic properties of Holocene and Late Weichselian deposits in the fluvial Rhine-Meuse delta, The Netherlands; proefschrift, Universiteit Utrecht.