

---

# Verbeterde schematisering van het oppervlaktewater in Mozart in hellend Nederland

Joost Delsman

---

## Inleiding

Toenemende druk op het watersysteem door klimaatverandering, verstedelijking, intensivering van de landbouw et cetera, heeft geleid tot een nieuwe kijk op het waterbeheer, waarbij het water meer leidend zou moeten zijn bij de ruimtelijke inrichting van Nederland. Dit voornemen is in 2003 bekrachtigd in het Nationaal Bestuursakkoord Water. Bij de uitwerking van het Nationaal Bestuursakkoord Water en de Kaderrichtlijn Water is het van belang het regionale en landelijke waterbeheer goed op elkaar af te stemmen. Het RIZA heeft de beschikking over een landelijk operationeel hydrologisch modelinstrumentarium (Bos e.a., 1997). Het modelinstrumentarium is ondermeer ingezet voor de Droogtestudie Nederland, voor studies naar het GGOR en de Kaderrichtlijn Water.

Dit hydrologische modelinstrumentarium van het RIZA is vooral ontwikkeld voor weinig dynamische situaties, zoals de droogteproblematiek. Gezien de huidige ontwikkelingen in het waterbeheer is er echter behoefte aan een instrumentarium dat, op een regionaal schaalniveau, ook voor meer dynamische situaties kan worden ingezet. Een belangrijke eis aan een dergelijk instrumentarium is een goede berekening van de dynamische interactie tussen grond- en oppervlaktewater. Dit artikel beschrijft het onderzoek dat tot doel heeft een methode te ontwikkelen om deze dynamische interactie te kunnen berekenen. Dit onderzoek heeft zich in eerste instantie beperkt tot het pleistocene, hellende deel van Nederland.

## Het model Mozart

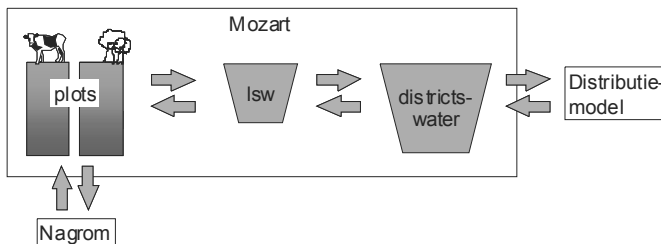
RIZA gebruikt voor hydrologische beleidsstudies een landelijk operationeel modelinstrumentarium, dat bestaat uit de hydrologische modellen Nagrom en Mozart, het waterverdelingsmodel Distributiemodel en verschillende effectmodellen. Het model Mozart modelleert de verticale stroming van water in de onverzadigde zone en de interactie van het freatisch grondwater met het regionale oppervlaktewater. Mozart is gekoppeld aan het Distributiemodel en aan Nagrom. De koppeling tussen Mozart en Nagrom verloopt via het koppelingsconcept Mona (Bos e.a., 1997).

---

Joost Delsman is werkzaam bij RIZA, Postbus 17, 8200 AA Lelystad, telefoon: (0320) 29 88 03, [j.delsman@riza.rws.minvenw.nl](mailto:j.delsman@riza.rws.minvenw.nl).

Het landelijk gebied wordt in Mozart geschematiseerd in zogenaamde plots. Deze plots zijn verticale bodemkolommen, waaraan verschillende bodemfysische eigenschappen, een gewastype, een kwel- of wegzijgingsflux en drainagetoestand zijn toegekend. Mozart kent zowel een semi-stationaire, als een niet stationaire oplossingsmethode voor de waterstroming in de onverzadigde zone.

Mozart is daarnaast uitgerust met een waterverdelingsmodule voor het regionale oppervlaktewater (figuur 1). Het oppervlaktewater wordt geschematiseerd in twee hiërarchische niveaus. Het laagste niveau, het 'local surfacewater' (lsw), is het oppervlaktewater waar een plot water mee uitwisselt. Een local surfacewater is een verzameling van alle regionale waterlopen in een gebied van gemiddeld 1900 ha. Elke tijdstep wordt een waterbalans bijgehouden van het inkomende (drainage, kwel, neerslag) en uitgaande (infiltratie, wegzijging, verdamping, beregening) water. De verhouding tussen de optredende bergingsverandering en de afvoer uit het local surfacewater wordt in hellende gebieden iteratief bepaald aan de hand van een vooraf opgegeven relatie tussen het geborgen volume en de afvoer. Aan de hand van deze relatie wordt ook het oppervlaktewaterpeil bepaald. Dit peil wordt voor de plots in het gebied van het local surfacewater gecorrigeerd voor het verschil in drooglegging tussen de plots. Local surfacewaters kennen geen onderlinge uitwisseling, een local surfacewater wisselt water uit met het hogere niveau, het districtswater. Het districtswater verzamelt in wateroverschotsituaties water uit de local surfacewaters. In watertekortsituaties verdeelt het districtswater water over de verschillende local surfacewaters. Het districtswater is gekoppeld aan het waterverdelingsmodel voor het hoofdsysteem, het Distributiemodel.



**Figuur 1:** Oppervlaktewater in het model Mozart. De verschillende termen worden uitgelegd in de tekst.

Bij de huidige implementatie van het oppervlaktewater in Mozart in vrij afwaterend Nederland zijn enkele kanttekeningen te plaatsen. Zo wordt de peilvariatie in een beek met een stroomgebied dat meerdere local surfacewaters omvat onderschat, omdat local surfacewaters onderling geen water uitwisselen. Afvoer van een bovenstroomse local surfacewater telt niet mee in de afvoer van het benedenstroomse local surfacewater, en komt daarmee niet tot uitdrukking in het peil van het benedenstroomse local surfacewater. Het freatisch grondwater in een plot kan worden beïnvloed door meerdere waterlopen, met elk hun eigen oppervlaktewaterpeil. De verschillende afstanden tot de waterlopen worden geschematiseerd in een freatische lekweerstand per waterloop, maar deze geschematiseerde waterlopen kennen in de huidige opzet wel alle hetzelfde peil. Daarnaast kent een local surfacewater maar één peilvariatie, terwijl in werkelijkheid de verschillende waterlopen in een local surfacewater verschillend reageren op veranderingen in afvoer.

## Oppervlaktewaterschematisatie in hellend Nederland

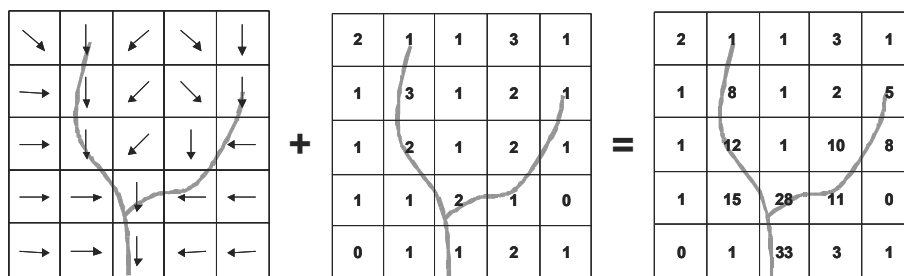
Door de opgesomde beperkingen wordt de dynamiek van het oppervlaktewater in de huidige schematisatie van het oppervlaktewater in Mozart niet juist gerepresenteerd. Maar wat is nu een goede methode om de dynamiek van het oppervlaktewater in het topsysteemmodel Mozart te berekenen?

Eén manier om de dynamiek van het oppervlaktewater nauwkeurig in een berekening mee te kunnen nemen is het vervangen van de oppervlaktewaterschematisering in Mozart door een 'online' koppeling met een gespecialiseerd hydraulisch model (als beschreven in bijvoorbeeld Smits en Hemker, 2004). Een dergelijke koppeling is in een model voor geheel Nederland, met het gewenste ruimtelijke detailniveau en beheersbare rekentijden, echter nauwelijks te realiseren.

Er is daarom voor gekozen om de schematisatie van het oppervlaktewater binnen Mozart met relatief kleine conceptuele aanpassingen te verfijnen. De methode bestaat globaal gezien uit de volgende, grotendeels geautomatiseerde, stappen:

- 1 Afleiden van een afstromingspatroon en inschatten van een debietverdeling over de waterlopen in een gebied;
- 2 Opnieuw indelen van local surfacewaters;
- 3 Onderverdelen local surfacewaters in peilgebieden;
- 4 Bepalen van relaties tussen afvoer van local surfacewaters en het oppervlaktewaterpeil in de peilgebieden.

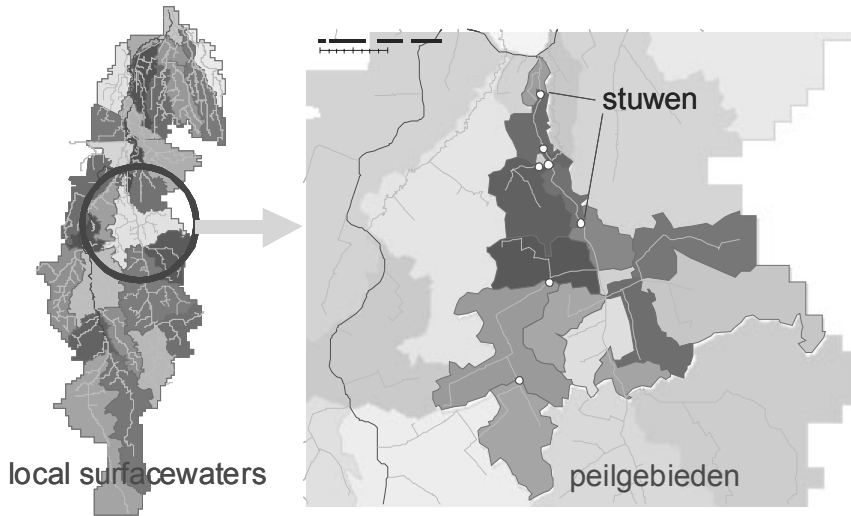
Voor een gebied wordt met behulp van GIS-technieken een afstromingspatroon gegenereerd, op basis van het hoogtemodel en de locaties van waterlopen volgens de topografische kaart (Burgerhart en Peereboom, 2001). Kunstmatige veranderingen in het watersysteem, zoals bijvoorbeeld duikers onder waterlopen door, worden in de procedure meegenomen (Burgerhart en Delsman, 2005). Een eerste stap om een dergelijk afwateringspatroon voor het hele hoge deel van Nederland te construeren is inmiddels gezet (Burgerhart en Van de Laar, 2005). Wanneer dit afstromingspatroon wordt gecombineerd met een kaart van de verwachte afvoer, kan een inschatting worden gemaakt van de verdeling van de afvoer over de verschillende waterlopen binnen een gebied (figuur 2). De verwachte afvoer kan bijvoorbeeld worden ingeschat aan de hand van afvoernormen uit het Cultuurtechnisch Vademecum, of aan de hand van een eerdere modelberekening.



**Figuur 2:** Inschatting van de verdeling van afvoer over waterlopen, gebaseerd op een combinatie van een afwateringspatroon en een kaart van verwachte afvoer.

Local surfacewaters worden vervolgens gedefinieerd op basis van grenswaarden in de opgestelde afvoerdeling. De grenswaarden zijn zo gekozen, dat local surfacewaters

beginnen bij de samenkomst van grotere regionale waterlopen (figuur 3, links). Gemiddeld zijn de nieuw gedefinieerde local surfacewaters nu 800 ha groot, minder dan de helft van de grootte van de local surfacewaters in de oude benadering. Local surfacewaters wateren bovendien in de nieuwe opzet op elkaar af. De local surfacewaters worden op basis van het te verwachten oppervlaktewaterpeil verder onderverdeeld in peilgebieden (figuur 3, rechts). In deze peilgebieden wordt een lineair verhang aangenomen. Uit een vergelijking met berekende stuwkrommen bleek een lineair verloop het optredende verhang goed te beschrijven (Delsman, 2005). Peilgebieden worden onderscheiden op basis van de samenkomst van kleinere regionale waterlopen en stuwen in de waterlopen. De peilgebieden zijn gemiddeld maar zo'n 65 ha groot.



**Figuur 3:** Onderverdeling van een stroomgebied in local surfacewaters en peilgebieden.

Een local surfacewater is een verzameling van verschillende waterlopen in een gebied. Wanneer door een toename in neerslag de toestroom naar een local surfacewater toeneemt, dan stijgt het oppervlaktewaterpeil in de verschillende waterlopen. Hierdoor neemt de afvoer uit het local surfacewater toe. De waterbalans van een local surfacewater ziet er in zijn eenvoudigste vorm als volgt uit:

$$Q_{\text{uit}} = Q_{\text{in}} - \Delta B,$$

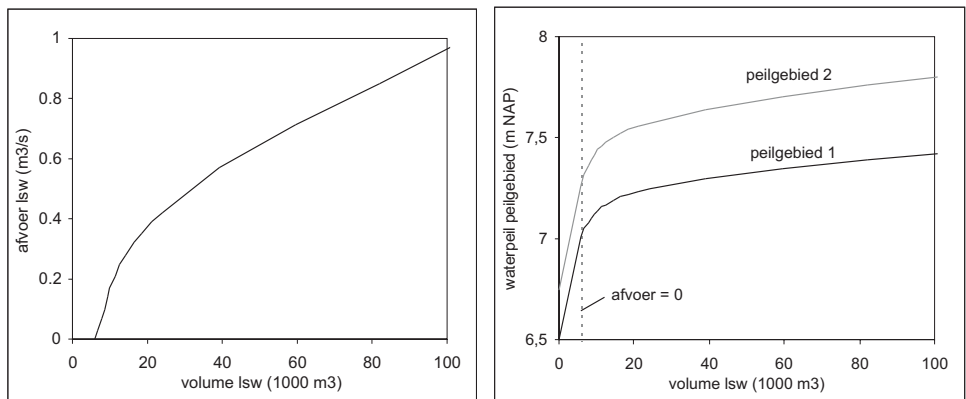
ofwel: de afvoer uit het local surfacewater is de instroom minus het bergingsverschil. De afvoer en de berging in het local surfacewater zijn beide functies van het oppervlaktewaterpeil:

$$Q_{\text{uit}} = f(P), \text{ en } B = f(P).$$

Bij een model waarbij elke waterloop apart wordt gemodelleerd, volgt het oppervlaktewaterpeil direct uit dit stelsel van vergelijkingen.

In de nieuwe schematisatie is er echter, om rekentijden te beperken, een onderscheid

gemaakt in het ruimtelijke schaalniveau van de waterbalans (het local surfacewater) en het schaalniveau van het oppervlaktewaterpeil (het peilgebied). Een local surfacewater bevat meerdere peilgebieden, waarbij elk peilgebied zijn eigen peilverloop kent. Om toch de afvoer en de berging van een local surfacewater te kunnen bepalen, is er een directe relatie gelegd tussen de afvoer uit een local surfacewater en de berging in het oppervlaktewater. Deze relatie is gelegd door in een voorbereidingsfase met een eenvoudig oppervlaktewatermodel een reeks verschillende afvoeren hydraulisch door te rekenen. De afvoer uit het local surfacewater is in deze procedure verdeeld over de verschillende waterlopen in het local surfacewater. Hierbij is de aanname gedaan dat de relatieve verdeling van de afvoer over de waterlopen binnen een local surfacewater constant kan worden verondersteld. Uit de berekende peilen en de kenmerken van de verschillende waterlopen wordt het volume geborgen water bij verschillende afvoeren berekend (figuur 4a). Deze relatie tussen afvoer en berging in het local surfacewater wordt gebruikt om de waterbalans van het local surfacewater op te lossen.

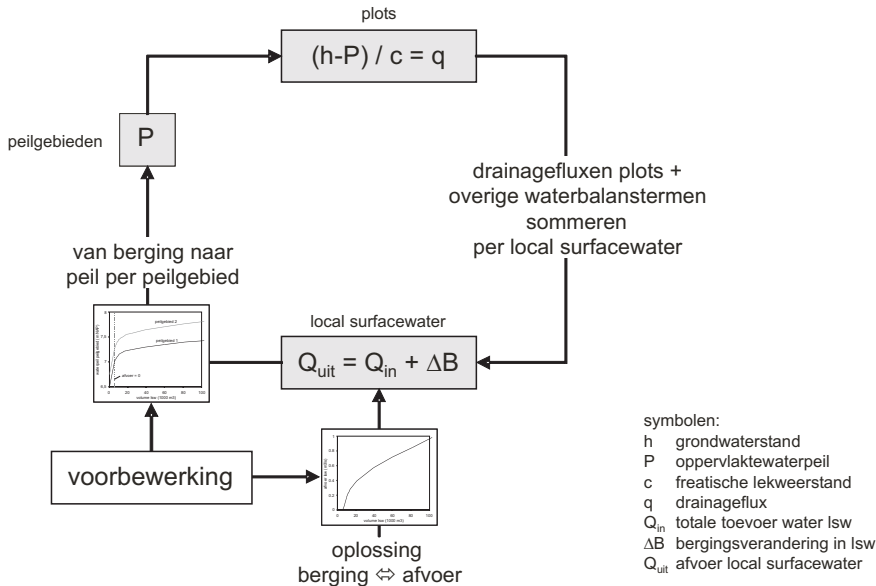


**Figuur 4:** Relaties tussen de afvoer uit een local surfacewater en het volume geborgen water (links) en tussen de afvoer uit een local surfacewater en twee binnen het local surfacewater optredende oppervlaktewaterpeilen (rechts).

Uit de voorafgaande hydraulische berekening is ook de relatie bekend tussen de berging in het local surfacewater en de peilen in de verschillende waterlopen (figuur 4b). De relatie tussen berging en oppervlaktewaterpeil wordt opgeslagen per peilgebied. Nadat in een Mozart berekening de waterbalans van het local surfacewater is opgelost, worden de juiste oppervlaktewaterpeilen in de peilgebieden met behulp van deze relatie bepaald. De verschillende waterlopen waar een plot mee in verbinding staat, kennen hiermee elk een eigen oppervlaktewaterpeil. Door deze rekenwijze worden oppervlaktewaterpeilen wel ruimtelijk verfijnd berekend, maar blijft de benodigde rekeninspanning beperkt.

Figuur 5 vat de rekenprocedure in Mozart nog eens samen. Afhankelijk van het verschil tussen de grondwaterstand en het oppervlaktewaterpeil treedt er een drainageflux naar het oppervlaktewater op. De drainagefluxen van de verschillende plots (plus de overige waterbalanstermen) worden per local surfacewater gesommeerd. Met behulp van de relatie tussen afvoer en berging (figuur 4a) worden de afvoer en de bergingsverandering in het local surfacewater bepaald. Het volume geborgen water wordt vervolgens met de relatie tussen de berging en de oppervlaktewaterpeilen (figuur 4b) terugvertaald naar een peil-

verdeling in het local surfacewater, uitgedrukt in peilen per peilgebieden. Deze peilen hebben weer invloed op de drainageflux et cetera.

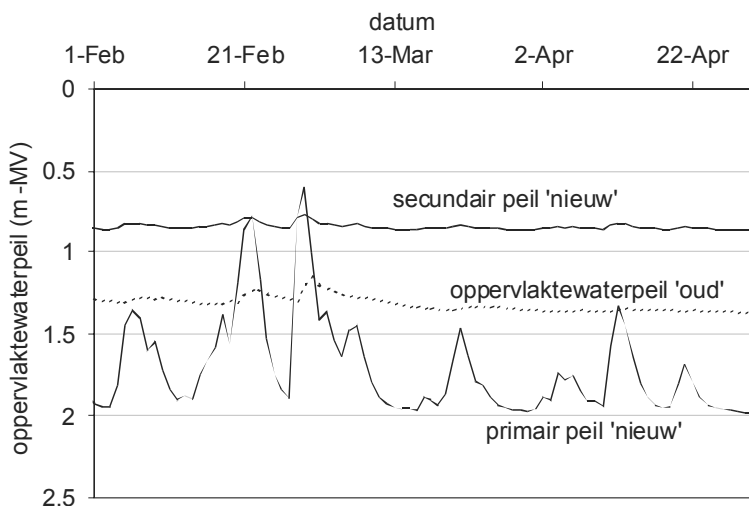


**Figuur 5:** Samengevatte rekenprocedure in Mozart.

### Vergelijking nieuwe schematisering – oude schematisering

In het stroomgebied van de Beerze, westelijk van Eindhoven, is met enkele berekeningen het verschil tussen de oude en de nieuwe wijze van schematiseren onderzocht. Gegeven de beschikbare tijd heeft er geen kalibratie kunnen plaatsvinden, noch kon een uitgetereerde onderrandvoorwaarde (uitwisseling met diepe grondwater) worden toegepast. Een volledige validatie van de methode aan meetgegevens is dan ook niet uitgevoerd, wel is een vergelijking gemaakt tussen de resultaten en beschikbare afvoergegevens. Om een vergelijking te kunnen maken tussen de oude en de nieuwe wijze van schematiseren is dezelfde periode doorgerekend, met tijdstappen van één dag. Uitgezonderd de schematisering van het oppervlaktewater is exact dezelfde schematisatie toegepast. Bodemkenmerken, landgebruik en ook drainageweerstand zijn in beide berekeningen gelijk. De doorgerekende periode is, na een aanloopperiode, 1 februari tot 1 mei 1999.

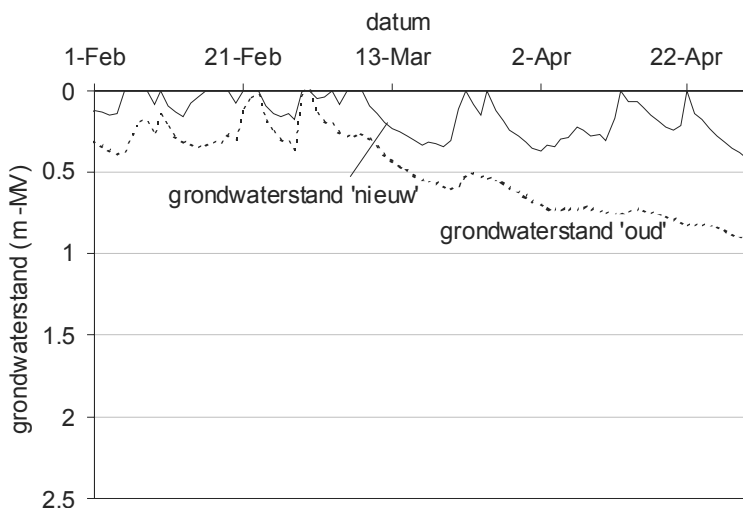
Door de aangepaste oppervlaktewaterschematisering verandert in eerste instantie alleen de berekening van het oppervlaktewaterpeil bij een bepaalde hoeveelheid drainage naar het oppervlaktewater. Dit veranderde oppervlaktewaterpeil heeft vervolgens echter een groot effect op andere modelvariabelen, zoals de grondwaterstanden en de afvoer. De verandering in het gemodelleerde oppervlaktewaterpeil dat de nieuwe schematisatie tot gevolg heeft is terug te zien in figuur 6.



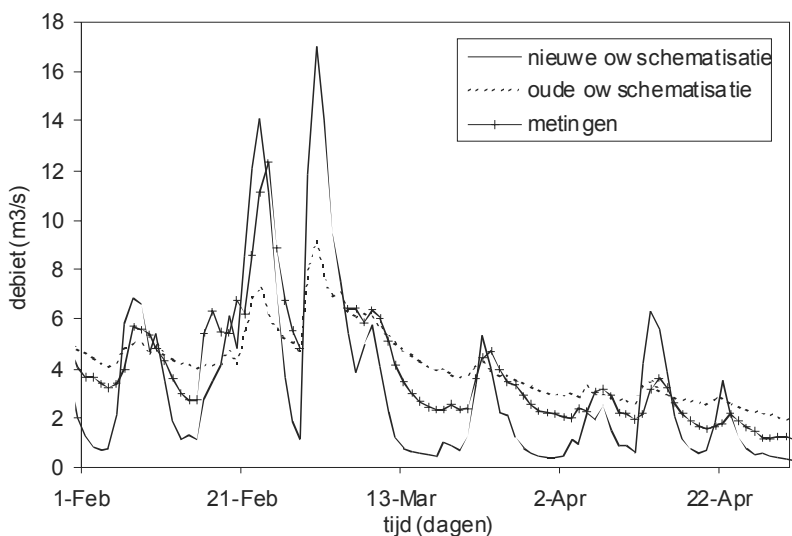
**Figuur 6:** Verandering in berekende oppervlaktewaterpeilen.

De oude schematisering kent geen uitwisseling van water tussen local surfacewaters. De invloed van bovenstroomse afvoer op het oppervlaktewaterpeil komt daarom niet tot uitdrukking in het vlakke verloop van het oude oppervlaktewaterpeil. Het nieuwe oppervlaktewaterpeil laat wel de invloed zien van bovenstrooms oppervlaktewater en kent flinke uitschieters tijdens perioden met hevige neerslag. In de nieuwe schematisering kennen de verschillende waterlopen die de ondiepe grondwaterstroming beïnvloeden alle een verschillend peil en peilvariatie. Dit komt naar voren in figuur 6, het peil van de secundaire waterloop ligt een meter boven het peil van de primaire waterloop, de Beerze. Het berekende peilverschil is in lijn met het verschil in stuwhoogte tussen beide waterlopen, deze bedraagt 1,2 meter. De met de nieuwe schematisatie berekende fluctuatie van het peil van de Beerze wordt met bijna 1,5 m duidelijk overschat. Ook valt op dat het peil van de Beerze op enkele momenten uitstijgt boven het peil in de secundaire waterloop, die uitmondt in de Beerze. Dit kan gebeuren omdat het verdrinken van stuwen, wat in dit geval plaats zou vinden, nog niet in de voorbereiding wordt meegenomen.

Door de significante verandering in oppervlaktewaterpeilen veranderen de ondiepe grondwaterstanden sterk. De grondwaterstand van de beschouwde locatie ligt door het ongeveer 30 cm hogere oppervlaktewaterpeil duidelijk boven de grondwaterstand die met de oude schematisering is berekend (figuur 7). De grondwaterstand komt in de nieuwe schematisatie zelfs regelmatig boven maaiveld uit. De grondwaterstand reageert met de nieuwe schematisatie sterker op een toename in neerslag dan met de oude schematisatie. Wordt het ruimtelijke beeld van de grondwaterstanden bekeken, dan blijkt dat de grondwaterstanden in het gehele gebied zijn gestegen, maar in het beekdal over het algemeen meer dan tussen de beken in. Dit is verklaarbaar doordat een plot in de oude schematisatie onder invloed stond van één peil, het dichtstbijzijnde peil. In de nieuwe schematisatie is het lagere peil van de hoofdbeek ook tussen de beken in van invloed op de grondwaterstand, waardoor de grondwaterstand hier relatief lager uitkomt (Delsman, 2005).



**Figuur 7:** Verandering in berekende grondwaterstanden.



**Figuur 8:** Verandering in berekende afvoer van de Beerze

De veranderingen in de afvoer van de Beerze zijn weergegeven in figuur 8. Van de berekende periode waren afvoermeetgegevens beschikbaar. Deze zijn ter vergelijking ook in de figuur weergegeven. Zoals uit de figuur blijkt kent de nieuwe schematisatie flink grotere fluctuaties in afvoer dan de oude schematisatie. Dit komt doordat de grondwaterstanden dichter aan maaiveld liggen, waardoor hevige neerslag een snel effect heeft op het oppervlaktewater. De afvoer in de oude schematisatie verloopt veel geleidelijker. Vergeliken met de beschikbare metingen wordt de afvoerpiek beter benaderd door de nieuwe schematisatie



dan door de oude schematisatie. De maximale afvoer wordt echter overschat. Daarnaast verloopt ook de uitputting van de afvoergolf sneller dan in de werkelijkheid.

## **Discussie en conclusies**

Het onderzoek heeft geleid tot een nieuwe methode voor het schematiseren van het oppervlaktewater in Mozart in vrij afwaterend Nederland. Met kleine aanpassingen is het mogelijk gebleken de berekening van de dynamische interactie tussen grond- en oppervlaktewater te verbeteren. Door het loskoppelen van het ruimtelijke schaalniveau van de berekening van de waterbalans van het oppervlaktewater en de bepaling van het oppervlaktewaterpeil heeft de methode geen significante toename in rekentijd tot gevolg.

Uit de resultaten is gebleken dat het verfijnder berekenen van de dynamiek van het oppervlaktewater grote invloed heeft op zowel de grondwaterstanden als de berekende afvoer van de Beerze. Het blijkt zeker belangrijk om aandacht te besteden aan het schematiseren van het oppervlaktewater in een hydrologisch model, ook wanneer men slechts geïnteresseerd is in het freatisch grondwaterstandsverloop. De veelvuldig toegepaste aanpak, waarbij geen dynamiek wordt verondersteld in het oppervlaktewatersysteem, werkt dan ook niet voor in elk geval pleistoceen Nederland.

Kijkend naar de resultaten met de verfijndere manier van schematiseren, zijn de waargenomen veranderingen in de berekende oppervlaktewaterpeilen, grondwaterstanden en afvoer theoretisch goed te verklaren. De berekende oppervlaktewaterpeilen weerspiegelen de (ruimtelijk variabele) dynamiek van het oppervlaktewater beter. De grondwaterstanden laten een plausibel ruimtelijk patroon zien en de berekende afvoer benadert de gemeten afvoerpieken beter.

De berekende fluctuatie van het oppervlaktewaterpeil is evenwel duidelijk aan de hoge kant, evenals de grondwaterstanden en de berekende afvoerpieken. De schematisatie is tot nog toe alleen getest zonder kalibratie en zonder juiste kwel onderrandvoorwaarde. Na kalibratie dient de schematisatie uitgebreid te worden gevalideerd aan meetgegevens. Hierbij moeten niet alleen afvoergegevens, maar ook metingen van het oppervlaktewaterpeil en grondwaterstanden worden toegepast. Pas dan kan een definitief oordeel over de methode worden gegeven.

## **Hoe nu verder...**

Rijkswaterstaat RIZA is samen met MNP, STOWA en TNO, Alterra en WL Delft een proces ingegaan wat zal leiden tot een Nationaal Hydrologisch Instrumentarium. In dit proces wordt eerst een landsdekkend modelinstrumentarium gerealiseerd, op basis van beschikbare data en programmatuur bij RIZA, MNP, TNO en Alterra. De landsdekkende oppervlaktewaterschematisering van Mozart speelt in dit instrumentarium een belangrijke rol. De inzichten die zijn opgedaan in het in dit artikel besproken onderzoek dragen bij aan een verbetering van de schematisatie van het oppervlaktewatersysteem in dit instrumentarium. Voor verdere ontwikkeling van dit instrumentarium in de komende jaren is nauwe samenwerking met regionale waterbeheerders en aansluiting bij regionale modellering beoogd.

## Referenties

- Bos, H., R. van Ek, J. Hoogeveen, A. Kors, W. de Lange, H. Vermulst, G. Arnold en T. Kroon (1997)** Water onder land tussen regen en plant. Ofwel: landelijke modellen voor verdrogingsbestrijding; RIZA rapport 97.062, Lelystad.
- Burgerhart, N. en I.O. Peereboom (2003)** SOW: GIS-methode voor de Schematisering van OppervlakteWater; RIZA werkdocument 2003.168X, Lelystad.
- Burgerhart, N. en J. Delsman (2005)** Levering databestand regionaal oppervlaktewater – Deelrapport fase A; Nieuwland Automatisering, Wageningen.
- Burgerhart, N. en E. van de Laar (2005)** Levering databestand regionaal oppervlaktewater – Deelrapport fase B; Nieuwland Automatisering, Wageningen.
- Delsman, J. (2005)** Verbeterde berekening uitwisseling grondwater – oppervlaktewater; RIZA Werkdocument 2005.143X, Lelystad.
- Smits, F. en K. Hemker (2004)** Koppeling Duflow – MicroFem; in: *Stromingen*, jrg 10, nr 2, pag 7–20.