

---

# Een blik in de gereedschapskist van de hydroloog

Harry Boukes

---

*Elke vakman heeft zijn eigen gereedschap. En zodra een substantieel aantal mensen een bepaald vak uitoefent, heeft het zin om ervaringen met dit gereedschap uit te wisselen. In deze bijdrage wil ik een aantal gereedschappen de revue laten passeren die ik al dan niet uit vrije wil in mijn gereedschapskist heb opgenomen. Met het ene hulpmiddel ben ik blijer dan met het andere.*

## Programmeren

De bijdrage van Theo Olsthoorn aan de Opinie-rubriek van Stromingen in het nummer van juni 1999 droeg de titel 'Een hydroloog moet kunnen rekenen'. Dat klinkt als 'een timmerman moet een spijker in het hout kunnen krijgen', maar feitelijk kun je je afvragen of het wel waar is. Als er nu iets is wat de computer ons de afgelopen jaren uit handen heeft genomen, dan is het toch wel het rekenwerk. Uiteraard vind ik wel dat een hydroloog gevoel moet hebben voor getallen, en moet weten wat een getal voorstelt. Dat zijn doorgaans mensen die ook kunnen rekenen, en dus geloof ik dat ik in de praktijk niet fundamenteel met Theo van mening verschil. In deze bijdrage zou ik er graag een stelling naast leggen: Een hydroloog moet kunnen programmeren. De noodzaak om te kunnen programmeren was tot begin jaren tachtig groot, domweg omdat er nog geen standaard-programmatuur beschikbaar was. Naderhand kwamen de programma's als MODFLOW en MicroFEM, en doofde de programmeerdrijf van de hydrologen. Om met die programma's te werken, hoefde je alleen nog maar schier oneindige reeksen getallen in vreemdsoortige tabelvormen in te typen (en wee je gebeente als je één spatie te veel typte), waarna andersoortige tabelvormen uitgespuugd werden waarin de feitelijk gewenste resultaten verstopt waren.

Later begon op computergebied de opmars van Windows, en stilaan begonnen ook hydrologen te dromen van meer grafische manieren van modelleren. In de tweede helft van de negentiger jaren verschijnen de eerste zogenaamde grafische schillen op de markt. Ongeveer tegelijkertijd kwamen er programma's beschikbaar voor automatische kalibratie van parameterwaarden.

---

Harry Boukes is zelfstandig milieuadviseur; Adviesburo Harry Boukes, Rosweijdelaan 29, 3454 BL De Meern, tel en fax (030) 66 66 128, e-mail: H.Boukes@inter.nl.net.

## Kalibratie

Vooral die laatste programma's hebben de wereld van de model-hydroloog danig op zijn kop gezet. In 1996 presenteerde de werkgroep Modelkalibratie van de NHV haar resultaten onder het motto "zoals we het vroeger deden, kan het niet meer". Toen men met die werkgroep begon, bestond het idee dat de programmatuur het werk zou doen waar hydrologen tot dan toe dagen tot weken mee aan het puzzelen waren, en dat het dan klaar zou zijn. Dat bleek echter allerminst het geval. Pas na 67 automatische kalibratie-runs met het GWA-model lag er een model waar men vrede mee had. In het kalibratie-boekje noemt men dat: de hydroloog krijgt weer tijd voor zijn eigenlijke werk.

Ik denk achteraf dat de boodschap van de Werkgroep puntiger gekund had. Na enkele jaren ervaring met de automatische kalibratie, merk ik dat ik in de kalibratie-fase eigenlijk helemaal niet meer aan het kalibreren ben. In de kalibratie-fase ben ik mijn model aan het checken op de model-uitgangspunten. Die zijn pas korrekt als de automatische kalibratie-programma's in staat zijn een geloofwaardige set parameters te berekenen, waarbij de verdeling van de restfouten geen structuur meer vertoont. Het is mijn ervaring dat het zelden mogelijk is vooral dat laatste te bereiken door alleen parameterwaarden te veranderen.

Zonder kalibratie-programmatuur is het vinden van optimale parameterwaarden dermate complex, dat alle energie daar in gaat zitten. Met kalibratie-programmatuur is het dermate eenvoudig geworden dat een hydroloog automatisch nog eens naar zijn model-aannamen kijkt. Daar komt bij dat de kalibratie-programmatuur zo onbeschaamd ook buiten onze ervaringscijfers naar optima zoekt, dat een onjuist modelconcept onmiddellijk vertaald wordt naar onwaarschijnlijke parameterwaarden. Juist dit gegeven schrikt mensen af die snel naar een resultaat toe willen werken. Het introduceert veel onzekerheden in een modelleringsproces dat we tot voor kort vrij eenvoudig konden overzien. Mogelijk daardoor is automatische kalibratie anno 1999 minder algemeen ingevoerd dan ik na de rapportage van de werkgroep verwacht had.

---

### Beperkingen

Mijn meest recente ervaringen met kalibratie wijzen me opnieuw op de beperkingen van onze huidige werkwijze. Doel van het model was een beeld te krijgen van de kwetsbaarheid van de winning. Conform de huidige praktijk heb ik alle beschikbare potentiaalmetingen gebruikt en bij gebrek aan aanleiding om het anders te doen, ze allemaal een wegingsfactor 1,0 gegeven. Het bleek mogelijk om kD-waarden en slootbodembedstanden te kalibreren. Maar voor bepaalde c-waarden was in de kalibratie geen nauwkeurige waarde te bepalen.

Uiteindelijk kwam ik tot twee sets parameterwaarden, die beiden een kwadraten-som van 1,40 m<sup>2</sup> gaven voor 68 waarnemingen. Toen ik voor de grap van beide varianten de gemiddelde absolute afwijking bepaalde, bleek de ene set een afwijking van 0,118 meter te geven en de andere van 0,110 meter.

Toen ik mijn op potentiaalwaarden gekalibreerde model toepaste op de bepaling van de responscurve, bleek de betreffende c-waarde een hele grote invloed te hebben op de responscurve. Nog groter was de invloed als ik de betreffende c-laag niet homogeen, maar heterogeen over het gebied verdeelde.

---

### *Hoe werkt nu automatische kalibratie?*

Mijn eerste ervaringen betroffen het programma PEST in combinatie met MODFLOW. Ik had een handmatig gekalibreerd model, en om PEST te leren kennen, besloot ik de kalibratie automatisch nog eens over te doen. In model had ik de diktes van het watervoerend pakket ingevoerd, en PEST mocht van mij de k-waarde bepalen. De resultaten kwamen aardig overeen met wat ik handmatig gekalibreerd had. In die zin fungeerde PEST als een bevestiging van mijn hydrologische ego, wat immer een reden tot tevredenheid is.

Lastiger werd het toen ik mijn topsysteem ook in de kalibratie wilde betrekken. Gezien de plaatselijke situatie had ik mijn topsysteem in tweeën geknipt. Er waren grote waterlopen die ik afzonderlijk in het model had opgenomen, en er was een secundair stelsel dat ik door middel van een drainageweerstand in algemene zin in het model had opgenomen. Omdat beide stelsels zowel konden infiltreren als draineren, diende ik ze beide via de RIV-module in MODFLOW op te nemen. Omdat het aanmaken van een dergelijk bestand als handwerk niet leuk is, had ik zelf een programmaatje geschreven dat de lengtes van de grote waterlopen combineerde met breedtes, bodemweerstand en peilen, en daarnaast een drainageweerstand van het secundair stelsel omrekende naar één conductance per cel, dat alles direct resulterend in een invoerbestand RIV voor MODFLOW.

Als ik nu die drainageweerstand en/of slootbodeweerstand met PEST wil kalibreren, heb ik een probleem. PEST kan maar één programma tegelijk aanroepen, en in mijn geval was het toch echt de bedoeling dat elke keer voordat MODFLOW wordt aangeroepen, de RIV-invoerfile wordt aangepast.

De handleiding van PEST geeft zelf al een hint: je moet een batch-file maken. Daarmee zitten we echt weer in het MS-DOS-tijdperk, maar het werkt echt heel flexibel. Zo'n batch-job bestaat uit drie regels:

```
DELETE RIV.DAT (je moet immers het oude bestand wegdoen voor je een nieuw
kunt maken)
RIVMAK (het programmaatje om de invoerfile aan te maken)
MODFLOW
```

Vervolgens geef je PEST de opdracht dat binnen deze batch-job de optimalisatie moet worden uitgevoerd.

### *Alles kan!*

Vanaf dat moment werd ik echt enthousiast: het was immers mogelijk om alles met alles te kalibreren. Bij een transportmodel bleek het zelfs mogelijk om de kD-waarde te ijken aan de hand van berekende nitraatconcentraties, en hoewel dat natuurlijk geen relatie meer had met de werkelijkheid, was het modeltechnisch wel te verklaren waarom de resultaten een bepaalde richting op wezen.

## Grafische programma's

Met deze achtergrond heb ik me de afgelopen periode verdiept in de mogelijkheden van twee programma's: MicroFEM en Visual MODFLOW.

### *MicroFEM en kalibratie*

Over het rekendeel van MicroFEM kan ik alleen maar enthousiast zijn. Hoewel het moeilijk is de ene situatie met de andere te vergelijken, kan ik me niet aan de indruk onttrekken dat MicroFEM factoren sneller rekent dan MODFLOW.

Het kalibratie-programma FemInvs stelde mij echter teleur. Opnieuw is de snelheid onovertroffen, maar de flexibiliteit is onvoldoende voor mensen die meer willen ijken dan kD- en c-waarden: wie bijvoorbeeld de grondwateraanvulling wil kalibreren, moet die eerst omrekenen naar instroomfluxen, en die kunnen dan gekalibreerd worden. Alleen is het jammer als er in hetzelfde pakket een onttrekking zit, want die wordt in de kalibratie ook bijgesteld.

Uiteraard is er een escape, maar daarvoor moet je met het programma opgegroeid zijn. Dan kun je zelf wel een programmaatje maken dat zelf de data-bestanden aanmaakt, en dat middels een batch-file met behulp van PEST kalibreren. FemInvs is dan nog wel aan de orde voor de ijking van 'standaard'-parameters, want nogmaals: de snelheid is onovertroffen.

### *Visual MODFLOW en de beperking van de vrijheid*

Is MODFLOW nu beter dan MicroFEM? Nee, nog niet, want het is niet eerlijk om mijn manier van werken met MODFLOW te vergelijken met de modernere manier van werken met MicroFem. En dus was ik blij om in een ander verband met Visual MODFLOW aan de slag kon gaan. De moderne net afgestudeerde hydroloog werkt natuurlijk allang niet meer met tabellen, maar met GIS-gestuurde plaatjes en achtergronden. En dus is ook MODFLOW voorzien van 'schillen'. Er zijn inmiddels verschillende schillen, elk met eigen eigenschappen en beperkingen. De naam Visual MODFLOW heb ik op een gegeven moment wat vaker horen vallen, en ik kreeg de indruk dat het geleidelijk een standaard begon te worden.

In eerste instantie viel het me tegen dat je met Visual MODFLOW niet ins Blaue hinein kunt beginnen met invoeren, maar van tevoren toch eerst een aantal principiële keuzes definitief moet maken. Het achteraf bijstellen van bijvoorbeeld modelgrenzen zit er niet in. Het achteraf verdichten van het netwerk wel, maar dat is niet bij elk euvel een remedie.

Visual MODFLOW gaat uit van standaard-keuzes, die achteraf bijgesteld kunnen worden. Wie stapsgewijs een netwerk wil verdichten van 200 x 200 m naar 25 x 25 meter kan goed uit de voeten, maar wie elementsgrenzen op vijf meter nauwkeurig om pompputten wil plaatsen, heeft te maken met ouderwets prutswerk.

De procedure van de handmatig bij te stellen standaard-keuzes is bij River-knooppunten erg onhandig: er kunnen lijnen worden gedefinieerd, die direkt aan de elementen worden toegewezen. Elk element van die lijn (zelfs als er maar een minimaal stukje waterloop doorheen loopt) krijgt een zelfde peil toegewezen, en –wat erger is– een zelfde conductance. De conductance is afhankelijk van de natte oppervlakte per element, en dit is weer het pro-

---

## **Kalibreren op stijghoogteverschillen**

Steeds meer krijg ik het idee dat kalibratie op potentiaalwaarden niet geschikt is voor stromings- c.q. flux-berekeningen. Je zult dan echt moeten kalibreren op gemeten fluxen om aan te tonen dat een model dit 'goed' berekent. Als er geen gemeten fluxen beschikbaar zijn, zou het kalibreren op potentiaalverschillen tussen de diverse pakketten waarschijnlijk beter zijn dan de kalibratie op feitelijke potentiaalwaarden. Maar ja, er is natuurlijk weer geen standaard-pakket dat die faciliteit levert.

---

dukt van de breedte maal de lengte van de sloot binnen een element. Visual MODFLOW rekent wel uit door welke elementen een sloot loopt, maar de gebruiker mag handmatig de verschillende lengtes binnen de doorsneden elementen verdisconteren.

Op die manier wordt de gebruiker dus al uitgenodigd om fouten te maken, maar helemaal erg wordt het wanneer er meerdere waterlopen binnen een element samen komen. Terwijl MODFLOW daar erg zorgvuldig en flexibel mee omgaat (het is dé manier om een niet-lineair oppervlaktewaterstelsel te modelleren), staat Visual MODFLOW maar één river per element toe, en overschrijft eerder ingevoerde rivers zonder verdere melding.

## **De rem op de vooruitgang**

Het betekent hier dat de nieuwe grafische hulpmiddelen onze hydrologische mogelijkheden inperken. Schaamteloos wordt ons onder het mom van vooruitgang functionaliteit ontnomen. Dat is jammer, maar in het tijdperk van automatische kalibratie bovendien erg storend. Het maakt beide primaire ontwikkelingen in het hydrologisch modelleerwerk tot tegengestelde bewegingen: de grafische schillen ontnemen ons subtiele modeltrucs, terwijl de consequenties daarvan dankzij automatische kalibratie steeds beter zichtbaar worden.

Dit probleem is volgens mij alleen te ondervangen als de moderne hydroloog zijn/haar programmeer-vaardigheden in stand laat. Dat mag in FORTRAN, maar kan net zo goed in C++, Pascal, GIS of Excel. Inmiddels heb ik begrepen dat Argus One een pre/postprocessor heeft waarbij de programmeur eigen opties kan inbrengen. Dit programma is in principe onafhankelijk van programma's, zodat ook MATLAB-gebruikers hier baat bij zouden kunnen hebben. Ik heb hier geen ervaring mee, als lezers van Stromingen dat wel hebben, hoor ik het graag. Visual MODFLOW heb ik inmiddels verlaten, maar mijn FORTRAN-compiler blijft geen week ongebruikt.

## **Betrouwbaarheid? Roept u maar!**

En nu ik het toch over kalibratie heb: in het decembernummer van Stromingen doen Theo Olsthoorn en Harry Rolf een oproep aan opdrachtgevers om automatische kalibratie te eisen, en de betrouwbaarheid van een model te kwantificeren. In een ander verband hoorde ik ook de oproep om van tevoren betrouwbaarheidslimieten te stellen waarbinnen een modelresultaat moet voldoen. Met de eerste oproep ben ik het eens, met de tweede niet. Of eigenlijk: ik zie nog niet zo hoe dat zou moeten, maar dat kan natuurlijk aan mij liggen.

Ten eerste: hoe zou ik die nauwkeurigheid moeten formuleren? Wanneer is een model goed? Als de gemiddelde afwijking 0,10 à 0,20 meter bedraagt? Moet ik even alle meetpunten even zwaar wegen, of mag ik ook weegfactoren gebruiken? Moet ik ook op fluxen kalibreren? Het lijkt me voor een opdrachtgever een onmogelijke opdracht om – zonder zelf achter het model te hebben gezeten – te bepalen wat de hoogst mogelijke nauwkeurigheid van een model is. In sommige gevallen kan een gemiddelde afwijking van 0,10 meter per meetpunt te veel zijn, in andere gevallen (bijv. een Veluwe-model) zal een gemiddelde afwijking van 0,50 meter per meetpunt de modelbouwer tot euforie brengen.

Bovendien is het maar de vraag in hoeverre de parameterwaarden de feitelijke bron van de fouten zijn bij een hydrologisch model. Kan iemand mij zeggen hoeveel fout ik introduceer door aan te nemen dat 1995 een gemiddeld hydrologisch jaar waarvan de jaargemiddelde grondwaterstanden kunnen worden beschreven met een stationair model?

Ik ben het met Harry Rolf en Theo Olsthoorn eens dat wie geen automatische kalibratie toepast, niet het uiterste heeft gedaan om een goed model te krijgen. Aan de andere kant is hydrologisch modelleren meer dan rekenen. De keren dat ik nu automatisch gekalibreerd heb, bleek steeds weer dat niet de parameterwaarden verantwoordelijk waren voor een 'onaanvaardbare' uitkomst, maar aannamen in het modelconcept. Ik heb randpotentialen aangepast, slootbodems dichtgemaakt, secundaire drainagesystemen in het model aangebracht, en zelfs dat kon niet in alle gevallen voorkomen dat een kD-waarde voor een ijking op het jaar 1986 tientallen procenten verschilde met een ijking voor 1993. Terwijl je toch zou denken dat als er iets hetzelfde blijft, het wel de kD-waarde is.

Ik bestrijd dan ook het idee dat automatische kalibratie een reproduceerbaar proces is: de optimalisatie van parameterwaarden wel, maar vervolgens moet een hydroloog het modelconcept bijstellen. Welke keuzes er dan gemaakt worden, hangt nog steeds af van de inzichten van de betreffende hydroloog.

Verder is het ook niet zo dat een model met de laagste kwadratensom altijd het beste model is. Een rekenkundig geoptimaliseerd model kan hydrologisch nog steeds langs de werkelijkheid schieten.

## **Concluderend**

Een hydroloog wordt geacht watersystemen te kunnen beschrijven. Daarvoor gebruikt een hydroloog getallen, die middels rekenregels aan elkaar gekoppeld worden. Een hydroloog moet dus weten wat een getal voorstelt en hoe de samenhang tussen de getallen is. Een goede hydroloog moet die samenhang kunnen sturen. Het is mijns inziens niet voldoende om daarbij afhankelijk te zijn van de standaard-programma's, en dus moet een hydroloog ook kunnen programmeren. Het gaat om een vraaggerichte flexibiliteit, die middels manipulatie binnen het standaard-programma of er buitenom gerealiseerd moet kunnen worden.

Automatische kalibratie lijkt me een onmisbaar instrument om de betrouwbaarheid van het model te verbeteren en te onderbouwen, al zou ik ook daar nog wel eens meer flexibiliteit in het optimalisatieproces willen hebben dan de programma's mij toestaan.

Volgens mij komt het er uiteindelijk op neer dat een hydroloog de kunst verstaat om met water te werken, zelfs als hij/zij alleen naar cijfers ziet.