

Landbouw universiteit

modellering van
grondwaterkwaliteit:
zin en onzin

door prof. dr. ir. A. Leijnse

Ontvangen
20 MEI 1995
UB-CARDEX

7120

MODELLERING VAN GRONDWATERKWALITEIT: ZIN EN ONZIN

door prof.dr.ir. A. Leijnse



**Inaugurele rede uitgesproken op 28 maart 1996
ter gelegenheid van zijn benoeming tot
hoogleraar grondwaterkwaliteit aan de
Landbouwniversiteit te Wageningen**

MODELLERING VAN GRONDWATERKWALITEIT: ZIN EN ONZIN

Mijnheer de Rector, geachte aanwezigen

Toen ik zo'n zeven weken geleden de titel van deze rede moest opgeven om er voor te zorgen dat de aankondiging op tijd in uw bezit zou zijn, had ik nog slechts een vaag idee hoe de inhoud er precies uit zou moeten zien. Op dat moment dacht ik dat ik mij met de opgegeven titel niet zo'n erg grote buil kon vallen. Ik weet dat er een hoop zinnige dingen te zeggen zijn over de modellering van grondwaterkwaliteit, tenminste als ik mijzelf en het werk dat ik doe serieus neem, en dat doe ik. En ik weet ook dat er een hoop onzinnige dingen zijn te vertellen over de modellering van grondwaterkwaliteit, tenminste als ik sommige van mijn collega's serieus neem, en dat doe ik ook. Of ik me inderdaad niet zo'n erg grote buil val laat ik graag aan u over ter beoordeling.

Laat ik, voordat ik op de zin of onzin van het modelleren van grondwaterkwaliteit in ga, eerst in het kort iets zeggen over modellen en grondwaterkwaliteit in het algemeen.

De meesten van ons hebben de neiging om onder modellen zeer ingewikkelde wiskundige

beschrijvingen van de "werkelijkheid" te verstaan. Maar modellen hoeven niet altijd zo ingewikkeld te zijn dat er grote, dure computers aan te pas moeten komen om een antwoord op onze vragen te geven. Aan de andere kant hoeven modellen ook niet persé zo simpel te zijn dat er geen computers nodig zijn. Waarbij ik dan nog in het midden wil laten of de vragen, en antwoorden daarop, zinnig of onzinnig zijn. Modellen, dus ook grondwaterkwaliteitsmodellen, zijn veeleer ideeën die we hebben over hoe de wereld in elkaar steekt en hoe we dat op een voor ons zo gunstig (zinnig) mogelijke manier kunnen beschrijven. Soms zal dat fysisch, chemisch en wiskundig erg complex zijn, maar soms ook past het op de achterkant van de bekende sigarendoos. Niettemin zal ik in deze rede onder modellen toch de wat meer complexe benadering verstaan.

De kwaliteit van het grondwater wordt bepaald door de concentratie van verschillende opgeloste stoffen in dat grondwater. Onze kennis van de kwaliteit van het grondwater is gebaseerd op de bemonstering van een relatief groot aantal putten. Die putten beslaan samen echter een zéér klein deel van het oppervlak van ons land. Dus zal onze kennis over de kwaliteit van het grondwater tamelijk gering zijn. De gegevens waarover we beschikken zijn uiterst beperkt. Van de processen die een rol spelen bij het transport en gedrag van

in het grondwater opgeloste, verontreinigende stoffen, weten we vaak niet precies hoe we die moeten beschrijven, tenminste niet op de schaal waarop we dat nodig hebben. Als we het wel weten, dan zijn we niet of nauwelijks in staat om de parameters die we voor zo'n beschrijving nodig hebben te meten of te schatten.

Ik heb hier twee begrippen gebruikt die in het vervolg vaker zullen voorkomen, en die ik iets meer wil toelichten: schaal en parameters. Onder schaal verstaan we de ruimtelijke uitgestrektheid, op dezelfde manier als we dat bij landkaarten kennen. Een kleine schaal betekent dat we een klein oppervlak met veel detail waarnemen. In kleinschalige modellen zit dus veel detail, maar het strekt zich uit over een klein oppervlak. Een grote schaal betekent dat we een groot oppervlak overzien, maar dat details niet meer waarneembaar zijn. Dus een grootschalig model strekt zich uit over een groot oppervlak, maar er zit weinig detail in. Die niet zichtbare details bepalen echter wel in hoge mate het grootschalige gedrag.

Onder parameters versta ik de eigenschappen waarmee we processen kunnen karakteriseren. Voorbeelden van parameters die van belang zijn voor grondwaterkwaliteit zijn: de weerstand van de bodem tegen de stroming van het grondwater, de hoeveelheid water die de bodem kan bevatten, de snelheid waarmee in het water opgeloste stoffen

door het bodemmateriaal kan worden opgenomen, de hoeveelheid opgeloste stoffen die door het bodemmateriaal kan worden opgenomen, enz.

Terug nu naar de grondwaterkwaliteit. Ondanks het feit dat we weinig van die kwaliteit afweten, weten we zeker dat ze wordt bedreigd. Bijvoorbeeld door diffuse verontreinigingen. Dat zijn verontreinigingen die op grote schaal optreden. Typische voorbeelden van diffuse verontreinigingen zijn verontreinigingen ten gevolge van het gebruik van mest en bestrijdingsmiddelen. Mest kan op lange termijn mede de verontreiniging van grondwater met stikstof en fosfor veroorzaken. Bestrijdingsmiddelen brengen onder andere zware metalen in de bodem, en dus in het grondwater. Volgens de milieubalans 95¹ is het gebruik van stikstof en fosfor in de afgelopen jaren afgenomen. Het effect van deze afname op de grondwaterkwaliteit is echter nog niet merkbaar. Dat is een gevolg van de zeer lage snelheden waarmee deze stoffen naar en door het grondwater worden getransporteerd². De belasting van de bodem met zware metalen is in de afgelopen jaren eveneens afgenomen. Deze zijn door de vertragende werking van interacties van deze elementen met het bodemmateriaal nog niet of nauwelijks in het grondwater aangetroffen. Bij veranderende omstandigheden kunnen deze zware metalen echter alsnog worden gemobiliseerd en in

het grondwater terecht komen. Het grondwatersysteem reageert dus zeer traag op veranderingen in belasting. Daardoor zal zelfs bij een verdere vermindering van het gebruik van verontreinigende stoffen het probleem van een toenemende grondwaterverontreiniging ons nog vele jaren blijven achtervolgen.

Naast de diffuse verontreinigingen hebben we te maken met lokale verontreinigingen. Dat zijn verontreinigingen die op een veel kleinere schaal optreden. Voorbeelden zijn vuilstorten en verontreinigde fabrieksterreinen. Volgens de laatste schattingen zijn er zo'n 110 000 lokaties die dermate verontreinigd zijn en een dusdanig gevaar voor hun omgeving opleveren dat zij voor sanering in aanmerking komen. Nu mag de directeur van de Bilthovense vestiging van het Europees Centrum voor Milieu & Gezondheid in de NRC³ dan wel de uitspraak doen: "van bodemvervuiling is nog niemand ziek geworden". Maar, zoals hij zelf zegt: deze bewering is niet "wetenschappelijk onderbouwd". Integendeel, er zijn vele gevallen bekend waarbij de verontreiniging van bodem en grondwater wel degelijk van invloed was op de gezondheid van mensen. Kortom, er is alle reden voor om ons zorgen te blijven maken over de kwaliteit van het grondwater nu en in de toekomst.

Hoe kunnen we nu min of meer complexe

modellen voor de grondwaterkwaliteit op een zinnige manier gebruiken, en waarvoor dan wel? Eigenlijk zou het gebruik van modellen een tweeledig doel moeten hebben. Het zou ons eerst moeten helpen de huidige situatie te analyseren, dat wil zeggen een diagnose te stellen van de huidige grondwaterkwaliteit. Daarnaast zou het ons moeten helpen om voorspellingen te doen over het effect van beleidsmaatregelen op de grondwaterkwaliteit. Dat wil zeggen een prognose te maken, en dan met name voor de wat langere termijn. Nu zegt een oud spreekwoord: "voorspellen een moeilijke kunst, met name als het om de toekomst gaat". Omdat onze kennis over de huidige kwaliteit van het grondwater zeer beperkt is, zou ik daar in dit geval aan toe willen voegen dat voorspellen extra moeilijk wordt als we niet weten hoe het heden eruit ziet.

De vraag die dan uiteraard direkt volgt is: hoe zinnig is het nu om te proberen een systeem waarover we zo weinig weten, te modelleren? Het antwoord dat we op die vraag zullen krijgen hangt sterk af van de persoon aan wie we die vraag stellen.

Er is een groep onderzoekers die per definitie zal zeggen: helemaal niet zinnig, niet doen dus. Tot deze groep behoren mensen die niet geloven in het nut (of zin) van min of meer ingewikkelde modellen. Over het algemeen hebben zij niet in de

gaten wat je wel met die modellen kunt doen. Dat zijn ook de mensen die tot uitspraken komen in de trant van: "het belangrijkste nut van ingewikkelde grondwaterkwaliteitsmodellen is dat de grote hoeveelheid papier waarop ze zijn beschreven kan worden hergebruikt". Ik laat het aan uw verbeelding over om te bedenken waaruit dat hergebruik dan bestaat.

Een tweede groep onderzoekers zal per definitie het gebruik van modellen zinnig verklaren onder het motto: "hoe ingewikkelder hoe beter". De achterliggende gedachte is dat we een systeem beter kunnen beschrijven naarmate we meer en ingewikkelder procesbeschrijvingen gaan hanteren. Dit ongeacht de vragen die we met behulp van modelberekeningen moeten beantwoorden en ongeacht het feit dat we vaak de parameters die nodig zijn voor die ingewikkelde procesbeschrijvingen niet kunnen identificeren. Tot deze groep behoren mensen die niet in de gaten hebben wat je niet met deze modellen kunt doen. Overigens is het gedrag van deze groep vaak aanleiding tot vergroting van de aanhang van de eerste groep.

Gelukkig is er ook een grote groep onderzoekers, waartoe ik uiteraard ook mijzelf reken, die enige notie heeft omtrent het zinnig gebruik van modellen. Op de vraag over de zinnigheid van het gebruik van min of meer complexe modellen zullen zij waarschijnlijk antwoorden: "dat hangt er maar

vanaf wat je ermee wilt". En dat raakt precies de kern van de zaak. *Niet het gebruik van modellen voor grondwaterkwaliteit is zinnig of onzinnig, maar de interpretatie van de resultaten door de onderzoeker.*

Ik zou nu graag nader willen ingaan op het gebruik van modellen bij diffuse en bij lokale verontreinigingen. Dat onderscheid wil ik maken omdat beide soorten verontreiniging een ander soort benadering vereisen.

Diffuse verontreinigingen vereisen een grootschalige aanpak. De verontreiniging treedt op over grote oppervlakken, en we willen gemiddelde concentraties van opgeloste stof op die grote schaal weten. Dat vereist opschaling van kleinschalige procesbeschrijvingen, wat extra moeilijk is voor niet-lineaire processen.

Lokale verontreinigingen vereisen een kleinschalige aanpak: de verontreiniging treedt op op een klein oppervlak, en we willen in detail weten hoe die zich verspreidt. Met name bij die lokale verontreinigingen kunnen niet-lineaire processen een rol spelen.

Tweemaal heb ik nu niet-lineaire processen genoemd. Om eenvoudig te demonstreren wat we onder een niet-lineair proces moeten verstaan wil ik een uitspraak van van der Molen aanhalen zoals dat eerder door mijn collega Feddes in zijn

inaugurele rede is gedaan⁴. Als we een kip twee keer zoveel voer geven, wil dat niet zeggen dat ze twee keer zoveel eieren gaat leggen. Die kip is dus een niet-lineair systeem: verdubbeling van de input geeft geen verdubbeling van de output. Aan de andere kant, als we de kip 20% minder voer geven houdt ze waarschijnlijk helemaal op met het leggen van eieren. Een kleine verandering in de input kan een grote verandering in de output veroorzaken. Ook dat is typerend voor een niet-lineair systeem.

Diffuse verontreinigingen

Voor diffuse verontreiniging is onlangs door Pebesma⁵ in een proefschrift van de Rijksuniversiteit Utrecht een beeld gegeven van de huidige en toekomstige grondwaterkwaliteit in Nederland. Dat beeld is gebaseerd op waarnemingen van het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit van het RIVM aangevuld met gegevens uit de Provinciale meetnetten. Het is geconstrueerd met behulp van een geostatistisch model, dat wil zeggen een statistisch model waarin rekening wordt gehouden met de ruimtelijke afhankelijkheid van de waarnemingen. In dat model is zeer weinig proceskennis gebruikt. Nu zullen procesmatig denkende mensen over het algemeen met het nodige wantrouwen naar statistische bewerkingen van gegevens kijken. Soms zullen zij het zelfs "een geraffineerde manier

om jezelf voor de gek te houden" noemen⁶. Niettemin geeft de geostatistische benadering beter gestructureerde informatie over de grondwaterkwaliteit dan de individuele waarnemingen. Pebesma heeft getoond dat het onder zeer strikte voorwaarden mogelijk is om met behulp van deze benadering grootschalig gemiddelde concentratieverdelingen te schatten. Bovendien is het mogelijk om aan te geven wat de mogelijke fout in deze schattingen kan zijn. Het moet echter ook mogelijk zijn om de schattingen te verbeteren door de procesmatige inbreng in de gevolgde procedure te vergroten via het gebruik van complexere modellen. Daarbij lopen we echter tegen een probleem op dat niet, of nog niet, is opgelost.

Het probleem waarop ik doel is het probleem van de verschillende schalen⁷. Ten behoeve van het landelijk milieubeleid zijn we niet geïnteresseerd in lokale concentraties van opgeloste stoffen, maar in grootschalig gemiddelde concentraties. Onze procesmatige modellen beschrijven echter meestal de optredende processen op een schaal die veel kleiner is. Om met behulp van een procesmatig model grootschalig gemiddelde concentraties te berekenen, moeten de heersende vergelijkingen ook voor die schaal worden afgeleid. Toepassing van onze procesmodellen op de kleinere schaal en middeling van de berekende concentraties is niet

een praktisch alternatief. Voor een dergelijke aanpak ontbreekt het ons ten ene male aan gedetailleerde kennis, en meestal ook aan de rekencapaciteit. Nu zijn de systematiek van opschaling en de strikte wiskundige regels die moeten worden gevolgd wel bekend⁸. Echter, het is ook duidelijk dat die formele opschaling in het algemeen aanleiding geeft tot extra termen in onze wiskundige vergelijkingen. Deze extra termen zijn niet eenvoudig te relateren aan bekende fysisch-chemische grootheden. In de meeste gevallen zullen we ervan uitgaan dat de grootschalige procesbeschrijving identiek is aan de kleinschalige procesbeschrijving. De effectieve modelparameters, die bij deze grootschalige procesbeschrijving horen, zijn dan zodanig gedefinieerd dat de fouten die we maken minimaal zijn. Dat hoeft niet noodzakelijkerwijs een goede benadering te zijn. Met name voor niet-lineaire systemen zal opschaling naar grootschalige procesbeschrijving vaak leiden tot anderssoortige relaties. In die gevallen is het gebruik van standaard-modellen onzinnig.

Indien we aannemen dat een gegeven procesbeschrijving voor een grotere schaal identiek is aan de procesbeschrijving op kleine schaal, dan wordt het volgende probleem geïntroduceerd: het schatten van de grootschalige effectieve modelparameters. Aan de basis van de schattingen

zullen de waarnemingen, of liever nog de "opgeschaalde" waarnemingen, moeten staan. We gebruiken het model dus om een betere schatting van de grootschalige verdeling van de concentraties van opgeloste stoffen te verkrijgen, en we gebruiken de bewerkte lokale waarnemingen om de modelparameters te schatten. Deze manier van werken kunnen we karakteriseren door te zeggen dat we het model als een intelligente interpolator van de waarnemingen gaan gebruiken. Intelligent betekent in dit geval dat we extra procesmatige kennis inbrengen in de interpolatie. De volgende logische stap is dan dat we onze modellen gaan gebruiken om te bepalen waar en wanneer we moeten meten om een beter beeld te verkrijgen van de grootschalige concentratieverdelingen. Met andere woorden, we gebruiken onze modellen om onze meetinspanning te optimaliseren. En daarmee is de kring rond: de meetinspanning verbetert het model, en het model verbetert de meetinspanning. Ik zou dat zeker een zinnig gebruik van modellen willen noemen. Overigens kan er niet genoeg de nadruk op worden gelegd dat een dergelijk gekoppeld gebruik van modellen en waarnemingen er niet per definitie toe leidt dat we onze meetinspanning kunnen verminderen. Tenminste niet als we tot een redelijk nauwkeurige schatting van de concentratieverdeling van opgeloste stoffen willen komen.

Tenslotte zullen we de stap maken om de procesmatige modellen ook te gaan gebruiken voor het doen van voorspellingen. Hoe goed die voorspellingen zullen zijn is niet met enige zekerheid aan te geven. Weliswaar zullen we in staat zijn om enigszins rekening te houden met onnauwkeurigheden die ontstaan door onnauwkeurigheden in de parameterschatting. Onnauwkeurigheden ten gevolge van fouten in ons conceptuele procesmatige model echter zijn niet of nauwelijks te kwantificeren. Ik kom daar straks nog op terug.

Hoe mooi dit allemaal ook klinkt, op dit ogenblik zijn we nauwelijks in staat om de beschreven procedure te volgen. Modelleren van de grondwaterkwaliteit op de schaal waarop we hier doelen is nog maar net mogelijk. Van procesbeschrijvingen op die schaal is weinig bekend, terwijl parameterschattingsprocedures voor dit type modellen nog volop in ontwikkeling zijn. Kortom, er zijn nog voldoende zinnige onderwerpen te onderzoeken voor we tot een zinnig grootschalig grondwaterkwaliteitsmodel zullen geraken.

Lokale verontreinigingen

Bij lokale verontreinigingen praten we in het algemeen over infiltratie van verontreinigd water,

waarvan de samenstelling van lokatie tot lokatie verschilt. In veel gevallen is die samenstelling nauwelijks bekend. In het algemeen echter zal het infiltrerende water door de hoeveelheid opgeloste stoffen zwaarder zijn dan het aanwezige water in de bodem. Dat zwaardere, verontreinigde water verdringt het aanwezige grondwater, waarbij ook een zekere menging zal optreden. Die menging wordt mede beïnvloed door de natuurlijke stroming van het grondwater en door de bodemeigenschappen. Door de verschillen in dichtheid wordt het gehele probleem van stroming van water en het transport van daarin opgeloste stoffen een niet-lineair probleem. Dat probleem is niet eenvoudig oplosbaar en vertoont niet noodzakelijk een naar ons idee "net gedrag"⁹. Afhankelijk van de dichtheid van het infiltrerende water zal er namelijk een stabiele dan wel een instabiele verdringing van schoon water door verontreinigd water ontstaan. Dat verschijnsel is zowel experimenteel¹⁰ als modelmatig aangetoond^{11,12}. Het transport van verontreinigende stoffen naar de diepte zal zeer sterk afhangen van de vorm van de verdringing.

Als het verschil in dichtheid tussen het infiltrerende, verontreinigde water en het aanwezige grondwater relatief klein is, zal de infiltratie een stabiel beeld geven. Dat wil zeggen dan zal er een nette concentratieverdeling ontstaan. Dat is zowel

in de modelberekeningen als in het experiment het geval. Beide benaderingen hebben betrekking op een homogene bodem, een in de praktijk ongebruikelijke situatie. Niettemin lijkt het erop op dat voor deze situatie een modelmatige aanpak resultaten kan opleveren die de werkelijkheid met een redelijke mate van nauwkeurigheid benaderen.

Een totaal andere situatie ontstaat als de relatieve invloed van de dichtheidsverschillen toeneemt. Het stromingspatroon gaat dan een instabiel gedrag vertonen, en een totaal verschillende concentratieverdeling is het gevolg. Het transport van de opgeloste stoffen begint een chaotisch gedrag te vertonen dat typerend is voor een instabiel, niet-lineair systeem. Modelberekeningen voor eenzelfde systeem geven eenzelfde soort patroon, hetgeen erop duidt dat we in elk geval in staat zijn om het instabiele gedrag van het systeem te modelleren¹³. Echter, hoewel het chaotische patroon verkregen met modelberekeningen lijkt op het patroon verkregen in een experiment, is er geen sprake van een identiek resultaat. Dat geeft dan ook direct aan waar de zin of onzin van dit type berekeningen ligt. Als we modellen zouden gebruiken om lokale waarden van de concentraties te voorspellen, dat wil zeggen: te voorspellen wat de concentratie op een bepaalde plaats en tijd zal zijn, dan zijn we duidelijk onzinnig bezig. De bewering van een onderneming in de Verenigde

Staten die een groot aantal vuilstortplaatsen beheert en controleert, dat de meeste van deze plaatsen niet lekken¹⁴, wordt daarmee op zijn minst twijfelachtig. Immers, deze bewering is gebaseerd op lokale metingen van de concentratie en deze kunnen een uiterst grillig patroon vertonen. De vraag of een verontreiniging voor een instabiel systeem zal worden ontdekt met een beperkt aantal observatie putten wordt veeleer gestuurd door toeval dan door kennis van het systeem. Tenzij we in staat zijn om met behulp van modellen iets te zeggen over het patroon van de concentratieverdeling, en dus over het patroon van de waarnemingsputten dat de grootste kans geeft op detectie van de uitgespoelde verontreiniging. En ziedaar dan ook één van de zinvolle toepassingen van modellen in dit geval.

Er is met enige fantasie nog wel een andere zinnige toepassing van een model voor dit soort lokale verontreinigingen te bedenken. In principe zullen we geïnteresseerd zijn in de snelheid waarmee de verontreinigingen worden getransporteerd, zowel horizontaal als vertikaal. Gezien het patroon van de concentratieverdelingen voor de stabiele en de instabiele situatie mag worden verwacht dat het transport naar de diepte in het geval van een instabiele toestand vele malen groter is dan in het geval van een stabiele toestand. Modellen kunnen ons nu helpen om schattingen te maken van het totale verticale transport van

opgeloste stoffen. Merk wel op dat het hier dus niet gaat om het zeer lokale transport, maar om het totale of geïntegreerde transport uit de verontreinigingsbron. Indien we met een model in staat zijn om het patroon van de concentratieverdeling en het patroon van de transportsnelheden te reproduceren, en ik ben ervan overtuigd dat we dat kunnen, dan zijn we ook in staat om een redelijke schatting te maken van het totale transport van de verontreinigingen. En omdat met name dat totale transport van belang is voor de verontreiniging van het diepere grondwater, lijkt ook dit een zinnige toepassing van modellen. Ik wil er overigens op wijzen dat dit systeem zich ook op grotere schaal als een niet-lineair systeem gedraagt. Dat betekent dat kleine veranderingen in de modelparameters grote veranderingen in de resultaten ten gevolge kunnen veroorzaken.

Op dit punt gekomen zou ik twee zaken willen aanroeren die weliswaar niet typisch zijn voor modellering van grondwaterkwaliteit, maar die toch een tamelijk prominente rol spelen in discussies met beleidsmedewerkers. Deze zaken zijn nauw verwant en zijn direkt gerelateerd aan het zinnig en onzinnig gebruik van modellen. Ik doel hier op validatie van modellen en consensus-modellering.

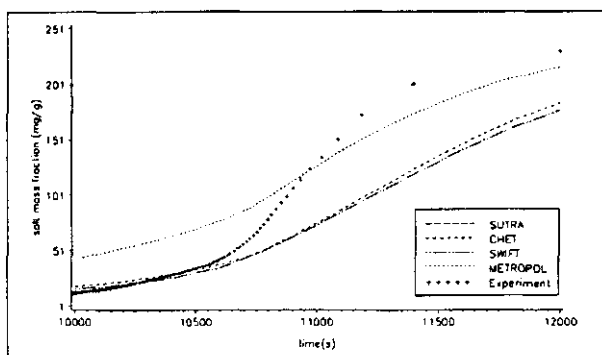
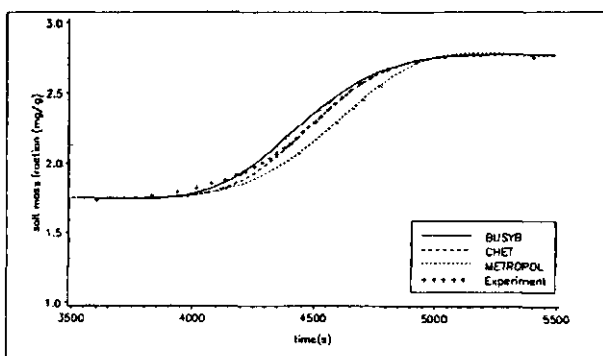
Validatie van modellen

Bij de toepassing van modellen voor het stellen van een diagnose of het maken van een prognose, wordt vaak de vraag gesteld of het hier een "gevalideerd" model betreft. Met name vanuit de kant van de beslissers, maar ook door functionarissen die moeten zorgen voor het kwaliteitsstempel waarvan het werk van de meeste instituten heden ten dage moet zijn voorzien. Door mensen die niet zelf inhoudelijk met modeltoepassingen bezig zijn, wordt onder een gevalideerd model vaak verstaan een model waarvan is aangetoond dat er binnen redelijke grenzen goede voorspellingen mee kunnen worden gedaan. Binnen de wetenschappelijke wereld, in elk geval dat deel van de wetenschappelijke wereld dat zich met de modellering van grondwater en grondwaterkwaliteit bezig houdt, is in het laatste decennium echter het besef gegroeid dat een dergelijke validatie van modellen onmogelijk is¹⁵. Met name het INTRAVAL project¹⁶, een internationaal project betreffende validatie van modellen voor de beschrijving van het transport van opgeloste stoffen in grondwater, waar ik deel van heb uitgemaakt, heeft dat besef duidelijk onderstreept.

Wat nu te doen met de constatering dat modellen niet kunnen worden gevalideerd, tenminste niet in de zin zoals hiervoor beschreven? Zijn modellen daarmee waardeloos geworden en betekent dat dan

ook dat elke toepassing van modellen voor het doen van voorspellingen bij voorbaat onzinnig is geworden? Het zal u niet verbazen dat mijn antwoord daarop nee is. In principe kunnen we verschillende niveaus van validatie definiëren¹⁷. Identificatie van processen en de manier waarop ze moeten worden beschreven is bijvoorbeeld iets dat we een zwakke vorm van validatie noemen. Laat ik u als voorbeeld van deze vorm van validatie noemen een serie kolomexperimenten die in het kader van het eerder genoemde INTRAVAL project zijn uitgevoerd. Deze kolomexperimenten hadden tot doel om de verdringing van zoet water door zout water te bestuderen, waarbij we vooral het effect van grote concentratie verschillen wilden bekijken. Het grote voordeel van kolomexperimenten is natuurlijk dat de condities waaronder de processen plaatsvinden zeer goed gecontroleerd zijn, en de fysische parameters die van belang zijn goed kunnen worden gemeten. In deze studie zijn nu verschillende experimenten uitgevoerd. Experimenten bij lage concentraties werden uitgevoerd om de systeemparameters te schatten. Met behulp van deze onafhankelijk geschatte parameters werd vervolgens getracht de experimenten bij hoge concentraties na te rekenen.

Figuur 1 geeft de resultaten weer van deze simulaties zoals uitgevoerd door verschillende groepen onderzoekers. Figuur 1a geeft, voor het



Figuur 1 Gemeten en berekende doorbraakcurves voor lage concentratie (1a) en hoge concentratie-experimenten (uit INTRAVAL¹⁶)

experiment bij lage concentraties, de zoutconcentratie als functie van de tijd voor één bepaalde plaats in de kolom. Figuur 1b geeft hetzelfde beeld voor één van de experimenten bij hoge concentratie. Zowel de gemeten concentratie als de met verschillende modellen berekende concentraties worden getoond. Het is duidelijk dat met de bestaande benadering geen enkele groep in staat was om de hoge concentratie-experimenten goed te simuleren. Nader theoretisch onderzoek gaf aan dat mogelijkwijs onze beschrijving van het transport van het opgeloste zout bij hoge concentraties niet volledig was. Uitbreiding van het conceptuele model stelde ons vervolgens in staat om een aantal onafhankelijke experimenten met hoge concentraties wel goed te simuleren¹⁸. Hebben we daarmee nu een model verkregen met behulp waarvan we goede voorspellingen in veldsituaties kunnen doen? Nee, want daar is veel meer voor nodig, bijvoorbeeld met betrekking tot beschikbare gegevens. Is dan een dergelijke exercitie met kolomexperimenten en modellen zinloos? Wederom nee, want we hebben wel een deel van ons conceptuele model kunnen toetsen en zelfs kunnen verbeteren. Met andere woorden, we hebben ons model in een zwakke vorm gevalideerd en ons vertrouwen in het model is toegenomen.

Validatie van een model in de zin dat we kunnen garanderen dat we binnen zekere grenzen

voorspellingen kunnen doen met dat model, is inderdaad niet mogelijk. Dat is in een aantal gevallen door controle achteraf aangetoond¹⁹. We zullen dan ook nooit in staat zijn om exact aan te geven hoe goed onze voorspellingen met een model zullen zijn. Dat is een direct gevolg van twee soorten onzekerheden waar we mee te maken hebben. Ten eerste de onzekerheid over de juistheid van onze concepten, hoewel we in een groot aantal gevallen nauwelijks redenen zullen hebben om aan die concepten te twijfelen. Ten tweede de onzekerheid over de randvoorwaarden of input van verontreinigende stoffen op ons bodemwater systeem in de toekomst. Niettemin is een zinnig gebruik van modellen mogelijk, bijvoorbeeld bij vergelijkende studies, dat wil zeggen bij het vergelijken van de resultaten van verschillende beleidsscenario's.

Consensus-modellering

Verschillende instituten houden zich bezig met het modelleren van effecten die het milieubeleid zal hebben op onder andere de grondwaterkwaliteit. Consensus-modellering is nu grofweg gezegd het streven om die instituten op één lijn te krijgen. Dat wil zeggen dat zij in gezamenlijk overleg besluiten welke modelmatige benadering het meest geschikt is voor welk type probleem. Deze benadering wordt vervolgens door elk van die instellingen

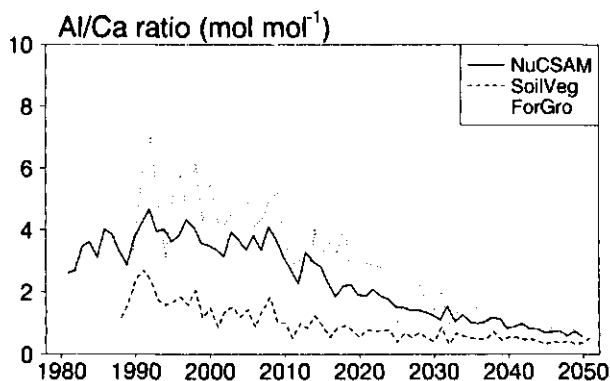
geadopteerd als de juiste of beste benadering. Mochten er problemen zijn waarvoor nieuwe ontwikkelingen nodig zijn, dan wordt overeengekomen hoe de nieuwe modelontwikkeling eruit zal moeten zien. In samenwerking wordt die ontwikkeling dan in gang gezet. De voor de modellering te gebruiken gegevensbestanden bij de verschillende instellingen dienen eveneens hetzelfde te zijn.

Het voordeel van deze benadering is evident, tenminste voor het beleid: geen doublures meer. Op de vraag wat het effect zal zijn van bepaalde beleidsmaatregelen zal door elk van deze instituten een vergelijkbaar of eenzelfde antwoord worden gegeven. Het nadeel van deze benadering is eveneens evident, tenminste voor diegenen die het onderscheid kunnen maken tussen de zin en de onzin van een modelmatige benadering. Er zal een sterke neiging ontstaan om te veronderstellen dat, als verschillende instituten een min of meer vergelijkbaar antwoord geven op eenzelfde vraag, dat antwoord zo niet de waarheid is, dan toch in elk geval dicht bij die waarheid zal liggen. Niets is echter minder waar. Een dergelijke veronderstelling zou nog enigszins verdedigbaar zijn als met verschillende modelbenaderingen eenzelfde antwoord wordt verkregen. Echter, als verschillende groepen onderzoekers met eenzelfde modelbenadering eenzelfde antwoord krijgen, betekent dat niet meer en niet minder dan dat zij

waarschijnlijk allemaal dezelfde fouten hebben gemaakt. Ik ben van mening dat een dergelijke consensus-benadering niet zal leiden tot een erg zinnig gebruik van modellen. Juist van de verschillen tussen de diverse modelbenaderingen en met name van de discussies over de oorzaken van die verschillen, leren we en krijgen we een beter begrip van oorzaken en effecten.

Een ander gevolg van de consensus-modellering laat zich eveneens raden: in het kader van verdergaande bezuinigingen op het onderzoek zal er bij consensus over de te geven antwoorden op beleidsvragen weinig behoefte meer zijn om onderzoek nog verder te financieren. Immers, we weten al hoe de zaak in elkaar steekt, dus wat valt er verder dan nog te onderzoeken? En ook hier moet worden gesteld: niets is minder waar.

Laat ik u een voorbeeld geven. In Figuur 2 ziet u een voorspelling van de verhouding van het gehalte Aluminium en Calcium zoals dat berekend is door een drietal modellen. Dit voorbeeld komt uit een vergelijkend onderzoek van modellen die in het verzuringsonderzoek zijn gebruikt²⁰. Ik wil hier niet ingaan op de achtergronden van deze modelberekeningen en de gegevens die zijn gebruikt. Het volstaat om te zeggen dat alle berekeningen zijn gebaseerd op dezelfde gegevens, dat wil zeggen, dat de basale informatie voor alle berekeningen dezelfde was. De modellen



Afbeelding 2 Met verschillende modellen voorspelde Al/Ca verhouding (uit Tiktak *et al.*²⁰)

verschillen echter in conceptuele aanpak, hetgeen op zich al een indicatie is dat er binnen de wetenschappelijke wereld geen consensus is over één conceptueel model. De verschillen in de resultaten zijn dan ook terug te voeren op deze conceptuele verschillen. De vraag kan nu worden gesteld: welk van de gepresenteerde resultaten zijn de juiste, ofwel welk model is goed en welk fout? Het is hoogstwaarschijnlijk dat de modellen geen van drieën volledig juist zijn.

Wat zou nu de conclusie uit een dergelijke berekening zijn geweest als er gedwongen

consensus had bestaan en er slechts één van deze modellen zou zijn toegepast op dit probleem? Dat is uiteraard niet met zekerheid te zeggen. Wel is duidelijk dat het een vals gevoel van zekerheid zou kunnen geven als slechts één van die modelresultaten zou zijn gepresenteerd. En dat geldt ook als we met behulp van geavanceerde methoden zouden trachten aan te geven wat de betrouwbaarheid van de voorspelling zou zijn. Deze betrouwbaarheidsschattingen zullen in het algemeen namelijk geen rekening houden met het effect van de verkeerde conceptuele veronderstellingen.

Dus, als er binnen de wetenschappelijke wereld geen consensus bestaat over het juiste concept, dan getuigt het van eerlijkheid om de resultaten die met verschillende concepten worden verkregen te tonen. Daarmee wordt dan aangegeven dat er niet zoiets als zekerheid bestaat. En zelfs als er binnen de onderzoekswereld met enige aandrang consensus is te bereiken, dan nog dient er voldoende ruimte te worden geschapen voor enige kritische geesten, die het gevolgde concept ter discussie stellen.

Samenvatting

Samenvattend zou ik willen stellen dat een zinvol gebruik van modellen voor grondwaterkwaliteit zeker mogelijk is, zolang tenminste de verwachtingen over de resultaten van dat gebruik

niet te hoog gespannen zijn. We zullen moeten leren leven met het feit dat dit soort modellen slechts in beperkte mate kunnen worden gevalideerd. Daarom zal ook het bereiken van consensus over modeltoepassing vrijwel onmogelijk zijn.

Onderzoek op het gebied van de modellering van de grondwaterkwaliteit zal zich vooral op de schaalproblematiek richten. Met name de manier waarop we kleinschalige informatie kunnen gebruiken om grootschalige beschrijvingen te maken verdient nader onderzoek. De koppeling van meetinspanning en het gebruik van modellen zal daarbij een belangrijke rol spelen.

Geachte aanwezigen

Aan het eind van deze rede wil ik graag diegenen bedanken die op de een of andere manier aan mijn benoemingen hebben meegewerkt.

Mijnheer de Rector Magnificus, Voorzitter en Leden van het College van Bestuur, Voorzitter en Leden van de Universiteitsraad en Voorzitter en Leden van de Benoemings Advies Commissie

U wil ik danken voor uw bijdrage aan het instellen van de leerstoel Grondwaterkwaliteit en voor mijn benoeming. Ik hoop en vertrouw erop dat ik een nuttige bijdrage zal kunnen leveren aan zowel het

onderwijs als het onderzoek, niet alleen van de vakgroep Waterhuishouding, maar van de Landbouwniversiteit als geheel. Mijn leeropdracht luidt "Grondwaterkwaliteit, met name de fysische processen die daarbij een rol spelen". Bij het beschrijven van de grondwaterkwaliteit spelen echter niet alleen fysische processen, maar ook chemische processen en wiskundige methoden een rol. Daarom is aan mijn leeropdracht alleen zinvolle invulling te geven in samenwerking met bijvoorbeeld de vakgroepen Bodemkunde en Plantenvoeding en Wiskunde. Ik hoop deze invulling in nauwe samenwerking met zowel de vakgroep Waterhuishouding als andere vakgroepen te kunnen geven. Daarbij zullen ook de onderzoeksscholen Hydrologie en WIMEK-SENSE een cruciale rol spelen.

Direktie van het RIVM

Ik dank u dat u mij in de gelegenheid stelt om één dag per week in het "Wageningse" te vertoeven en op die manier bij te dragen aan een versterking van de contacten tussen de LUW en het RIVM. Mijn collega's bij het RIVM ben ik dankbaar voor het feit dat ze me zonder morren deze ene dag per week willen missen. Ik begrijp dat dat voor tweeërlei uitleg vatbaar is, maar ik kies bewust voor de voor mij meest gunstige uitleg.

*Hooggeleerde Feddes, Zeergeleerde Koopmans,
Zeergeleerde van Lanen, beste Reinder, Ruurd en
Henny*

We hebben lang voor deze benoeming afkwam uitgebreid gepraat over mijn mogelijke inbreng in het werk van de vakgroep, zowel wat betreft het onderwijs als het onderzoek. Ik heb deze besprekingen erg op prijs gesteld, omdat me dat enigszins heeft voorbereid op deze positie, en omdat me dat het gevoel gaf dat ik iets nuttigs heb bij te dragen aan het werk van de vakgroep. Ik zal mijn best doen om dat inderdaad waar te maken.

U zult het me niet kwalijk nemen als ik op deze voor mij zo bijzondere dag mij in het Engels richt tot mijn promotor, die onder andere voor deze gelegenheid uit de Verenigde Staten is overgekomen.

Hooggeleerde Gray, dear Bill

Thank you for being here and sharing this moment with me and my family. I am not sure that you have understood everything said so far, although your Dutch has been getting better and better as time progressed. One of the reasons for me being here, is that I have learned more from you than you are probably willing to admit. Again thank you for being here and supporting me.

*Dames en heren medewerkers van de vakgroep
Waterhuishouding*

Ik realiseer me heel goed dat ik voor de meesten van u een vreemde eend in de bijt ben. Ten eerste wordt ik door mijn positie niet direkt geconfronteerd met de capaciteits- en financiële problemen van de vakgroep, hoewel ik er tijdens de koffiepauze voldoende over te horen krijg. Dat betekent dat ik me meer dan u als een vrije vogel kan opstellen, hoewel ik uiteraard begrip heb voor de problemen van de vakgroep. Ten tweede zijn mijn vakgebied en professionele achtergrond niet Wagenings. Niettemin is er een duidelijke aansluiting bij het grootste deel van het wetenschappelijke werk van de vakgroep, en ik hoop dan ook dat mijn inbreng voor een verbreding van dat vakgebied kan zorgdragen, niet alleen op het gebied van het onderzoek maar ook op het gebied van het onderwijs. Ten derde breng ik slechts één dag per week op de vakgroep door, en dat maakt het vinden van de weg binnen de LUW en het gewend raken aan de terminologie van de LUW er niet eenvoudiger op. Niettemin voel ik me thuis op de vakgroep, niet in de laatste plaats door uw opstelling. Ik ben er zeker van dat op korte termijn onze samenwerking verder zal intensiveren.

Dames en heren studenten

Uit mijn voorgaande betoog zal u duidelijk zijn geworden dat bij het modelleren van processen die te maken hebben met de huidige en toekomstige kwaliteit van het grondwater in Nederland meer komt kijken dan het simpelweg toepassen van één van de vele computerprogramma's, die tegenwoordig tegen sterk gereduceerde prijzen beschikbaar zijn. Wat, zult u zich afvragen, zou u op dit gebied van mij kunnen leren? Misschien minder dan u zou willen, maar toch meer dan u na dit betoog zou verwachten. Ik zal in elk geval geen kant en klare oplossingen voor verschillende problemen kunnen aandragen. Ik zie het meer als mijn taak u een nog kritischer instelling bij te brengen dan u al heeft, zodat u resultaten van modelberekeningen niet zonder meer zult accepteren, maar ook niet zonder meer zult verwerpen. Als u hebt geleerd om kritisch naar die resultaten te kijken en naar de manier waarop die resultaten zijn verkregen, dan ben ik ervan overtuigd dat u er ook iets zinnigs mee kunt doen. Ik hoop dan ook dat u bereid zult zijn om tijd te besteden aan het verkennen van de wereld van de "modellering van grondwaterkwaliteit". Laat u zich vooral niet afschrikken door de wiskunde die daarbij te pas komt. Het is een interessante wereld die het waard is om verkend te worden, en ik wil u daar graag bij helpen.

Mijn gezinsleden

Bedankt voor de konstante ondersteuning die ik van jullie krijg. Op de één of andere manier geven jullie mij steeds weer het gevoel dat jullie in mij geloven. En dat is een plezierig gevoel, waarvoor ik jullie dankbaar ben.

Mijnheer de Rector, geachte aanwezigen, dank u voor uw aandacht

Referenties

1. Milieubalans 95, RIVM, Samson H.D. Tjeenk Willink, Alphen aan de Rijn, 1995
2. Meinardi, C.R., *Groundwater recharge and travel times in the sandy regions of the Netherlands*, proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam, 1994
3. Joost van Kasteren: Van bodemvervuiling is nog niemand ziek geworden, *NRC*, 19-10-1995
4. Feddes, R.A., Waar blijft het water..., Inaugurele Rede Landbouw Universiteit Wageningen, 13 september 1990
5. Pebesma, E.J., *Mapping groundwater quality in the Netherlands*, proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht, 1996
6. Daniel Kleppner, Fretting about Statistics, *Physics Today*, July 1992
7. CHO-TNO, *Schaalproblemen in de Hydrologie*, Rapporten en Nota's 31, 1993
8. Gray, W.G., Leijnse, A., Kolar, R.L. and Blain, C.A., *Mathematical tools for changing spatial scales in the analysis of physical*

systems, CRC Press, Boca Raton, 1993

9. Leijnse, A., *Three dimensional modelling of coupled flow and transport in porous media*, Ph.D. thesis University of Notre Dame, 1992
10. Oostrom, M., Hayworth, J.S., Dane, J.H. and Güven, O., Behaviour of dense aqueous leachate plumes in homogeneous porous media, *Water Resources Research*, 28 (8), pp. 2123-2134, 1992
11. Dane, J.H., Güven, O., Oostrom, M., Hayworth, J.S. and Leijnse, A., Dense aqueous phase contaminant plume behaviour in porous media near the groundwater table, in: *Future Groundwater Resources at Risk*, IAHS Publication 222, 1994
12. Oostrom, M., Leijnse, A. and Roberson, K.R., Simulation of two- and three-dimensional dense solute plume behaviour with the METROPOL-3 code, in: *Computational Methods in Water Resources X*, p. 975, 1994
13. Leijnse, A. and Oostrom, M., The onset of instabilities in the numerical simulation of

density-driven flow in porous media, in:
*Computational Methods in Water
Resources X*, p.489, 1994

14. Joop Bouma, Lekkend vuil geen probleem,
Trouw, oktober 1990
15. Konikow, L.F. and Bredehoeft, J.D.,
Groundwater models cannot be validated,
Advances in Water Resources, 15, pp. 75-
83, 1992
16. The International Intraval Project, Final
Results, OECD, Parijs, 1996
17. Leijnse, A. and Hassanizadeh, S.M., Model
definition and model validation, *Advances
in Water Resources*, 17, pp. 197-200, 1994
18. Anderson, M.P. and Woessner, W.W., The role
of post-audit in model validation, *Advances
in Water Resources*, 15, pp. 167-174, 1992
19. Hassanizadeh, S.M. and Leijnse, A., A non-
linear theory of high-concentration-gradient
dispersion in porous media, *Advances in
Water Resources*, 18, pp. 203-215, 1995
20. Tiktak, A., van Grinsven, J.J.M., Groenenberg,
J.E., van Heerden, C., Janssen, P.H.M.,

Kros, J., Mohren, G.M.J., van der Salm, C., van de Veen, J.R. and de Vries, W., Application of three forest-soil-atmosphere models to the Speuld experimental forest, RIVM report 733001003, 1995