

NN31207.12

organisatie voor
toegepast-natuurwetenschappelijk
onderzoek

TNO

GRONDWATERKWALITEIT IN RELATIE
MET ONDERZOEK EN BELEID

Verslag van de 3^e CHO-studiebijeenkomst
15 maart 1983

COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK TNO
SERIE: RAPPORTEN EN NOTA'S

GRONDWATERKWALITEIT IN RELATIE
MET ONDERZOEK EN BELEID

Verslag van de 3^e CHO-studiebijeenkomst
15 maart 1983

Samengesteld door ing. J.C. Hooghart

COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK TNO

Serie: Rapporten en Nota's no. 12.

COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK TNO

3^e CHO - STUDIEBIJeenkomst

GRONDWATERKWALITEIT IN RELATIE
MET ONDERZOEK EN BELEID

15 maart 1983, IAC te Wageningen

Samengesteld door ing. J.C. Hooghart

Den Haag, juni 1983

Contactadres:

Secretariaatsbureau CHO-TNO,

Postbus 297, 2501 BD DEN HAAG

INHOUD

	Blz.
1. <u>VOORWOORD</u>	I
2. <u>AANBEVELINGEN</u>	III
3. <u>GRONDWATER (KWALITEITS) MODELLEN,</u> <u>KEUZE EN GEBRUIK</u>	1
Ir. K. Kovar en Ir. M.G.M. den Blanken	
3.1 <u>Inleiding</u>	2
3.2 <u>Indeling van modelgebruikers</u>	4
3.3 <u>Keuze van het model</u>	6
3.3.1. Inleiding	6
3.3.2. Het fysische systeem	6
3.3.3. Beschikbaarheid van gegevens	7
3.3.4. Aard van het probleem	8
3.3.5. Aard en betrouwbaarheid van de te ver- wachten resultaten	8
3.3.6. Beschikbaarheid van faciliteiten	9
3.3.7. Beschikbare middelen	10
3.4 <u>Gebruik model</u>	11
3.4.1. Inleiding	11
3.4.2. Nauwkeurigheid en betrouwbaarheid	11
3.4.3. Doelstelling modelonderzoek	13
3.4.4. Invoergegevens model	14
3.4.5. Calibratie model	15
3.4.6. Gevoeligheidsanalyse	17
3.4.7. Verificatie model	17
3.4.8. Toepassing model	18
4. <u>STAND VAN ZAKEN GRONDWATERKWALITEITSMODELLEN</u>	19
Ir. L.J.M. Boumans	
4.1 <u>Inleiding</u>	19
4.2 <u>Terreinafbakening</u>	19
4.3 <u>Werkwijze</u>	21
4.4 <u>Bevindingen</u>	22
4.5 <u>Samenvatting</u>	26

5.	<u>STELLINGEN EN DISCUSSIES</u>	
5.1	<u>Formuleringsprobleem</u>	27
5.2	<u>Communicatieprobleem</u>	28
5.3	<u>Gegevens/meetnet/bemonsteringsprobleem</u>	30
5.4	<u>Opleidingsprobleem</u>	32
5.5	<u>Toepasbaarheidsprobleem</u>	33
5.6	<u>Onderzoeksbeleid</u>	35
5.7	<u>Organisatorische problemen</u>	36
6.	<u>CONCLUSIES</u>	39
	<u>BIJLAGEN</u>	40
	I <u>Programma studiebijeenkomst</u>	40
	II <u>Deelnemerslijst</u>	41

1. VOORWOORD

De studiebijeenkomst "Grondwaterkwaliteit in relatie met onderzoek en beleid" is gehouden op 15 maart 1983 in het Internationaal Agrarisch Centrum te Wageningen.

Deze studiebijeenkomst is een vervolg op de eerste CHO-studiebijeenkomst "Waterkwaliteit in grondwaterstromingsstelsels" op 1 en 2 april 1980.

Naar aanleiding van deze bijeenkomst en op aanraden van de Contactgroep Grondwatermodellen CHO, heeft het Klein Comité van de CHO besloten om de begeleidingscommissie Grondwaterkwaliteit in te stellen.

Deze begeleidingscommissie heeft de volgende doelstelling:

"Het adviseren van het Klein Comité over de wijze waarop een verdere inventarisatie van het onderzoek op grondwaterkwaliteitsgebied kan plaats vinden; vervolgens het aan de hand van de resultaten van deze inventarisatie, zo mogelijk aangeven van de activiteiten die in het kader van de CHO op het grensgebied tussen grondwaterkwaliteits- en grondwaterkwantiteitsonderzoek dient te geschieden.

De groep bestaat uit de volgende leden:

Prof. dr. G.B. Engelen (VUA), (voorzitter), Ir. W. van Duyvenbooden (RID), Drs. E. Romijn (DWG), Ir. J.H.A.M. Steenvoorden (ICW), Drs. W.J. Willems (Min. VROM) en J.C. Hooghart (CHO) (secretaris).

Voor de uitvoering van de inventarisatie is Ir. L.J.M. Boumans aangetrokken. Dit project is gefinancierd door het voormalige Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne. De inventarisatie heeft geleid tot een rapport in de serie Rapporten en Nota's van de CHO, als no. 11, getiteld "Inventarisatie grondwaterkwaliteitsmodellen". Om de resultaten van deze inventarisatie te bespreken en een inzicht te krijgen in de meningen/ideeën op het gebied van het grondwaterkwaliteitsonderzoek heeft de begeleidingscommissie voorgesteld om deze derde CHO-studiebijeenkomst te houden. (De tweede CHO-studiebijeenkomst gehouden in 1981, had de titel: "Waterkwaliteit en waterkwantiteit in het IJsselmeergebied.")

Na de inleidingen van Ir. K. Kovar als vertegenwoordiger van de Contactgroep Grondwatermodellen CHO-TNO, over de keuze en gebruik van grondwater (kwaliteits) modellen en van Ir. L.J.M. Boumans over de stand van zaken, is gediscussieerd aan de hand van stellingen.

In dit rapport zijn dan ook opgenomen bovengenoemde inleidingen, de stellingen met samenvattingen van de gevoerde discussies, die een weergave zijn van de studiebijeenkomst, maar niet expliciet de mening van de voorbereidingsgroep vertolken, de conclusies van deze studiebijeenkomst, en hieraan voorafgaand de aanbevelingen van de begeleidingscommissie aan het Klein Comité.

Voor het programma van de studiebijeenkomst en de lijst van deelnemers wordt verwezen naar de bijlagen I en II.

Daar de bijeenkomst was gericht op discussie, is slechts een beperkt aantal deelnemers uitgenodigd. De belangstelling die er echter bestond voor deze studiebijeenkomst heeft de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, doen besluiten middels dit rapport een bredere verspreiding te geven van de resultaten.

2. AANBEVELINGEN

De begeleidingscommissie Grondwaterkwaliteit beveelt het Klein Comité van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO aan:

1. Het oprichten van een Contactgroep Grondwaterkwaliteit met als doelstelling het bevorderen van:
 - het uitwisselen van kennis;
 - het uitwisselen van informatie over lopend onderzoek op het terrein van grondwaterkwaliteit en de randgebieden.
2. De taak van de Contactgroep Grondwatermodellen (CGM) uit te breiden, zodat in deze groep ook de grondwaterkwaliteitsmodellen behandeld worden.
Hiertoe kan eventueel de samenstelling van de CGM gewijzigd worden door aanvulling met deskundigen op kwaliteitsgebied.

Toelichting bij aanbeveling 1.

- a. De Contactgroep Grondwaterkwaliteit dient te bestaan uit onderzoekers en gebruikers van onderzoekresultaten op het gebied van grondwaterkwaliteit.
- b. De Contactgroep Grondwaterkwaliteit kan in dezelfde vorm als de Contactgroep Grondwatermodellen (CGM) worden ingesteld. D.w.z. dat geen extra geld of mankracht noodzakelijk is. Voor eventuele uitgebreide werkzaamheden kunnen projectvoorstellen worden gedaan door deze contactgroep.
- c. De algemene taken voortvloeiend uit de doelstelling zijn:
 - het organiseren van bijeenkomsten op het gebied van grondwaterkwaliteit en de randgebieden;
 - activiteiten uit te voeren op het gebied van kennisoverdracht en informatieverzameling.

Concrete taken op korte termijn:

- Het voorbereiden van een themadag over regionaal onderzoek. De titel van deze dag kan zijn: "Regionaal grondwaterkwaliteitsbeheer".

Als voorbeeld kan een provincie genomen worden (Drenthe/Utrecht) waar veel onderzoek gedaan is of gedaan wordt.

Aan de orde dient te komen:

- . meetnetten;
- . hydrologische/hydrogeologische gegevens en systemen;
- . waterkwaliteitsgegevens.

Onderwerpen voor volgende thema/studiedagen zijn:

- . waterwingebieden;
 - . bufferzones rond natuurgebieden.
- Het opstellen van een geannoteerd overzicht van gedane inventarisaties*) vanuit: ICW, Landinrichtingsdienst, M.E.R., CHO-TNO, Automatiseringsoverleg Waterbeheer, SAMWAT; etc.

*) inventarisaties:

ICW	attenderingsbulletin van de bibliotheek Staringgebouw met o.a. informatie over programma's geschikt voor zakcomputers.
Landinrichtingsdienst	rapport "Voorspelling van de effecten van landinrichting op water, bodem en lucht", 1983. Eindrapportage fase 1.
M.E.R.	inventarisatie van beschikbare technieken voor milieu-effect-voorspelling 1981-1982.
CHO-TNO	Rapporten en Nota's: <ul style="list-style-type: none">- no. 2: rapport van de ad-hoc groep Grondwatermodellen en Computerprogrammatuur TNO, 1978.- no. 11: Inventarisatie Grondwaterkwaliteitsmodellen, L.J.M. Boumans, 1982.
Automatiseringsoverleg	
Waterbeheer	inventarisatierapport A.O.W. deel I, II en III, 1982.
SAMWAT	Beleidsanalysemethoden in het waterbeheer. Een verkenning van problemen en oplossingen. deel II, 1983

3. GRONDWATER (KWALITEITS) MODELLEN
Keuze en gebruik

Ten behoeve van de CHO-studiebijeenkomst
"Grondwaterkwaliteit in relatie tot
onderzoek en beleid".

Samengesteld aan de hand van het "Rapport en
aanbevelingen van de Contactgroep

Grondwatermodellen CHO-TNO

Ir. K. Kovar en Ir. M.G.M. den Blanken

januari 1983

3.1. INLEIDING

In de zeventiger jaren hebben de ontwikkeling en het gebruik van computermodellen op het gebied van grondwater (grondwatermodellen) een grote vlucht genomen. Reeds nu staat een relatief omvangrijk arsenaal aan modellen ter beschikking als hulpmiddel bij analyse van grondwaterproblemen. Deze problemen zijn gerelateerd aan zowel de uitvoering van werken en het grondwaterbeheer als aan speurwerk en methodiekontwikkeling.

Gezien de inspanning, die momenteel geleverd wordt op het gebied van modelontwikkeling, mag verwacht worden dat het aantal modellen in de komende jaren nog zal toenemen. Daarnaast mag verondersteld worden dat het gebruik van grondwatermodellen in de dagelijkse praktijk van het grondwateronderzoek verder ingang zal vinden. Naarmate de modelontwikkeling enerzijds en het modelgebruik anderzijds in omvang toenemen, dient er meer en gericht aandacht te worden besteed aan:

- contacten en coördinatie tussen modelontwikkelaars;
- het samen optrekken van modelontwikkelaars en modelgebruikers (o.m. afstemming van mogelijkheden en behoeften);
- de beschikbaarheid van modellen en de modelkeuze.

In het rapport van de Contactgroep aan de hand waarvan deze bijdrage is gecompileerd, wordt met name aandacht besteed aan de problematiek met betrekking tot de modelkeuze en het modelgebruik. Onderwerpen die door de CGM worden aangemerkt als zijnde van bijzonder gewicht en waarmee de CGM zich vanaf de instelling hoofdzakelijk heeft beziggehouden.

De Contactgroep heeft zich tijdens haar werkzaamheden beperkt tot de zgn. grondwaterstromingsmodellen. Dit zijn modellen waarmee grondwaterpotentialen (stijg-hoogte, grondwaterstand) of grondwaterdrukken kunnen worden gesimuleerd. Dit type modellen wordt doorgaans als "kwantiteitsmodellen" aangeduid. Tot deze groep modellen behoren ook modellen voor de berekening van stroombanen en verblijftijden.

Onder grondwaterkwaliteitsmodellen worden modellen verstaan waarmee het transport (in ruimte en tijd) van opgeloste stoffen in verzadigd en/of onverzadigd grondwater kan worden geanalyseerd. In engere zin kunnen de grondwaterkwaliteitsmodellen worden gedefinieerd als modellen die, als onderdeel van zowel hun input als output, in ieder geval een grondwaterkwaliteit kenmerkende parameter hebben, zoals bijvoorbeeld de stofconcentratie of een discreet aantal deeltjes als dragers van een bepaalde stofhoeveelheid.

Verder worden de grondwaterkwaliteitsmodellen veelal gekenmerkt door het fysische proces van advectie, dat wil zeggen de verandering in de grondwaterkwaliteit als gevolg van grondwaterstroming. Naast de advectie kan in deze modellen ook met een groot aantal andere fysische, maar ook fysisch-chemische en bio-chemische processen rekening worden gehouden.

Aangezien er geen essentieel onderscheid is tussen de aspecten van keuze en gebruik van grondwaterkwaliteits- en grondwaterkwantiteitsmodellen is de CGM van mening dat deze door haar beschouwde onderwerpen onverminderd ook voor de grondwaterkwaliteitsproblematiek van belang kunnen zijn.

Over de onderwerpen keuze en gebruik is binnen de CGM uitgebreid gediscussieerd. De CGM meent dat de resultaten van deze discussies, zoals neergelegd in het CGM rapport, met name voor de discussies op de onderhavige CHO-studiebijeenkomst een belangrijke achtergrondinformatie bevatten. De hierna gegeven drie hoofdstukken zijn een verkorte en op de grondwaterkwaliteitsproblematiek enigszins toegespitste weergave van respectievelijk hoofdstukken 3, 5 en 6 uit het voornoemde CGM rapport.

3. 2. INDELING VAN MODELGEBRUIKERS

Het is bij discussies binnen de CGM nuttig gebleken onderscheid te maken tussen de verschillende niveaus modelgebruikers. In werkelijkheid zijn deze niveaus vaak niet zo duidelijk te onderscheiden. Zij gaan geleidelijk in elkaar over of zij zijn verenigd in één persoon.

Niveau 1; de beleidsgerichte gebruiker

Deze gebruiker is beleids en beleidsanalytisch gericht. Hij moet op de hoogte zijn van de beleidsdoelstellingen, waarbij grondwater(kwaliteit) één van de factoren is die nodig zijn voor het realiseren van doelstellingen. Hij moet overzien van welk belang water(kwaliteit) is voor het bereiken van de doelstelling, mede in relatie tot de andere voorwaarden waaraan voldaan moet worden om de doelstelling te kunnen realiseren.

Aan de hand van zijn kennis van bestuurlijke zaken en de besluitvorming hierbij ("niveau 0") zal hij bij een ingreep moeten aangeven hoe betrouwbaar de gevolgen van een ingreep bepaald moeten worden, op welke termijn antwoord verwacht wordt en hoeveel geld beschikbaar is of moet komen om tot een verantwoorde besluitvorming te kunnen komen. Het begrip "ingreep" dient in dit verband zeer ruim te worden geïnterpreteerd, variërend tussen een concrete civieltechnische ingreep en een wijziging van beleid ten aanzien van (grond)water(kwaliteit).

De gebruiker van niveau 1 zal dus op de hoogte dienen te zijn van de technische mogelijkheden op het gebied van hydrologische modellen (in relatie tot kwantiteit en kwaliteit). Deze mogelijkheden (kunnen) worden aangedragen door niveau 2.

Niveau 2; de technische georiënteerde modelgebruiker

Hieronder wordt de gebruiker verstaan die in het kader van een onderzoeksproject, uitgaande van de probleemstelling, daadwerkelijk betrokken is bij de schematisering van de hydrologische werkelijkheid ten behoeve van de modeltoepassing. Hij is direct of indirect betrokken bij modelberekeningen, uit te voeren in eigen beheer of door derden.

Deze gebruiker moet hydrologisch geschoold zijn en het is wenselijk, maar niet noodzakelijk dat hij de gebruikelijke computertalen kan lezen, ermee om kan gaan en eventueel kleine aanpassingen in het programma kan aanbrengen.

Hij dient een probleem hydrologisch te kunnen vertalen (formulering van het

onderzoeksvoorstel) en uit de beschikbare modellen voor zijn probleem meest geschikte model te kunnen selecteren (criteria o.a. beschikbare tijd, crediet en gegevens en vereiste betrouwbaarheid).

Hij moet de voorwaarden waaraan voldaan moet zijn en waarop gelet moet worden om dat model toe te mogen passen, kennen, de beperkingen van het model onderkennen en de waarde die aan de uitkomst toegekend mag worden kunnen beoordelen.

Tevens dient hij aan te kunnen geven wat de betrouwbaarheid* van de uitkomsten van het model is, door welke factoren deze betrouwbaarheid het sterkst wordt beïnvloed en hoe de betrouwbaarheid kan worden verhoogd (welke veldgegevens beter?; ander programma?). Kortom hij moet de modelresultaten kunnen interpreteren en evalueren. Voorts dient hij inzicht te hebben in de kosten die een en ander met zich meebrengt.

Indien in het hiernavolgende "de gebruiker" wordt genoemd, wordt hiermee niveau 2 bedoeld.

* Het begrip "betrouwbaarheid" wordt toegelicht in hoofdstuk 4.

3. 3. KEUZE VAN HET MODEL

3. 3.1. Inleiding

Het doel van een hydrologisch onderzoek is veelal te voorspellen wat de gevolgen van een ingreep of een combinatie van ingrepen in het hydrologisch systeem (bijvoorbeeld een grondwaterwinning, een beekkanalisatie, de aanleg van een vuilstortplaats of wijziging van landbouwpraktijken) zullen zijn voor bepaalde onderdelen van dit systeem (bijvoorbeeld grondwaterstanden, beekaivoeren, grondwaterkwaliteit). Meer concreet zal men willen weten aan welke criteria een ingreep of een constructie zal moeten voldoen om de doelstelling zo goed mogelijk te verwezenlijken.

In verband met de kosten en mogelijke schadelijke gevolgen kan zo'n ingreep meestal niet op het systeem zelf worden uitgetoet. Meestal zal men daarom gebruik maken van een geschematiseerde weergave van de werkelijke situatie, een model. Hiervoor is keuze mogelijk uit verschillende typen, waaronder met name wiskundige modellen, dat wil zeggen wiskundige formuleringen die de fysische, (fysisch)chemische en biologische processen van de grondwaterstroming en stoftransport beschrijven.

De hoofd fase van de uitvoering van het hydrologisch onderzoek zal daarom meestal bestaan uit een modelstudie. De keuze van een model is afhankelijk van een aantal factoren:

- a. het fysische systeem;
- b. de beschikbaarheid van gegevens;
- c. de aard van het probleem;
- d. de aard van en de betrouwbaarheid van de resultaten die men verwacht;
- e. de beschikbare faciliteiten;
- f. de beschikbare middelen (geld en tijd).

In het vervolg van dit hoofdstuk zal successievelijk op de genoemde factoren worden ingegaan.

3. 3.2. Het fysische systeem

In de eerste plaats is voor de modelkeuze van belang welk deel van de fysische werkelijkheid door het model zal moeten worden weergegeven.

Dit betreft zowel de omvang in ruimte en tijd en de mate van detaillering als de verschijnselen die men wil simuleren. Heel belangrijk is in hoeverre men moet en kan schematiseren tot de relevante aspecten van het systeem. Veel hangt af van de

mate van detail waarmee men het systeem kent. Tot het systeem kunnen ook behoren de procedures waarmee men het systeem bestuurt.

Het moet worden benadrukt dat de gekozen modeltechniek in alle gevallen een schematisatie(versimpeling) van de hydrologische werkelijkheid inhoudt, met alle gevolgen voor de betrouwbaarheid van modelresultaten vandien.

3.3.3. Beschikbaarheid van gegevens

Iedere hydrologische studie vangt aan met een inventarisatie van de reeds bekende gegevens. De beschikbaarheid van gegevens vormt een belangrijke randvoorwaarde voor de keuze van het meest geschikte model. Ze vormen het bouw materiaal van het model alsmede de voorwaarde en de toetssteen voor zijn werking.

Drie situaties zijn denkbaar.

- a. De situatie dat er niet voldoende gegevens aanwezig zijn om zelfs met een simpele analytische formule een verantwoorde berekening te kunnen uitvoeren. Wil men in zo'n geval een enigszins gefundeerde voorspelling kunnen doen, dan zullen tenminste zoveel extra gegevens moeten worden verzameld, dat een eenvoudige modelmatige benadering zinvol is.
- b. De situatie dat er wel een model te vinden is, dat met de beschikbare gegevens resultaten oplevert, echter zonder de betrouwbaarheid die, gelet op de doelstelling, wordt vereist. Het gebrek aan gegevens kan betrekking hebben op onvoldoende bekendheid met de geohydrologische opbouw van het onderzoeksgebied, waardoor een verantwoorde schematisering van het probleem niet goed mogelijk is. Het kan ook voorkomen dat er wel voldoende bekend is over de opbouw van het gebied maar dat er onvoldoende kwantitatieve gegevens beschikbaar zijn. Ook in deze gevallen zullen de reeds bekende gegevens door middel van veldonderzoek moeten worden aangevuld.
- c. De situatie dat bij gebruikmaking van alle beschikbare gegevens een dusdanig model kan worden gevonden dat de resultaten de volgens de doelstelling gewenste betrouwbaarheid bezitten.

Naar de relatie tussen extra gegevensverzameling en de hieruit resulterende toename in betrouwbaarheid van modelresultaten is nog weinig onderzoek gedaan. Het verdient aanbeveling dat aan dit aspect van modelonderzoek meer aandacht wordt besteed.

3.3.4. Aard van het probleem

Een algemene vraag, gesteld op beleidsniveau, wordt in een organisatie steeds verder geconcretiseerd tot een in hydrologische termen gesteld vraagstuk. Dit vraagstuk wordt vertaald in een doelstelling van het hydrologische onderzoek, waarmee het vraagstuk tot een oplossing kan worden gebracht. In de doelstelling wordt onder andere de aard van het probleem uiteengezet, bevattende de volgende elementen:

- a. de aard van de ingreep die in het hydrologische systeem wordt gepleegd; bijvoorbeeld of het een grondwaterwinning, een polderpeilverlaging, een beekregulering, of een lozing van afvalstoffen betreft;
- b. de hydrologische parameter(s), waarvan men de reactie op die ingreep wil voorspellen; bijvoorbeeld het niveau van het freatisch vlak, een beekafvoer, de verdamping of de concentratie van een stof;
- c. het tijdstip waarop of het tijdsverloop waarover de ingreep wordt uitgeoefend en men de reactie van de hydrologische parameter wil voorspellen; met andere woorden is het een stationair of een niet-stationair probleem;
- d. de locatie of het gebied waar de ingreep wordt uitgeoefend en waarvoor men de voorspelling wil doen (zowel in het horizontale als in het verticale vlak).

Een vraagstelling die de bovengenoemde elementen bevat zou er als volgt uit kunnen zien: Wat gebeurt er met de beekafvoeren in termen van kwaliteit en kwantiteit (b) in gebied A (d) gedurende zomerperiode (c) als er in het voorjaar (c) in gebied B (d) een grondwaterwinning (a) wordt gestart op 50 m diepte (d), die gedurende 3 maanden (c) zal worden gecontinueerd.

Tezamen met de kennis die men heeft van het onderzoeksgebied, is men nu in staat om het probleem in hydrologische termen zodanig te beschrijven dat men kan gaan zoeken naar een model waarmee het probleem kan worden opgelost.

Een essentiële schakel voor een juiste modelkeuze ontbreekt echter nog, namelijk een antwoord op de vraag hoe betrouwbaar de resultaten dienen te zijn.

3.3.5. Aard en betrouwbaarheid van de te verwachten resultaten

Het gewicht en de omvang van de mogelijke gevolgen van een ingreep in het hydrologische systeem kunnen worden uitgedrukt in de betrouwbaarheid die men van de modelresultaten verlangt. Het betekent dat grenzen worden aangegeven waarbinnen de modelresultaten mogen afwijken van de werkelijkheid (met een bepaalde kans op

overschrijding): de zogenaamde betrouwbaarheidsgrenzen. Deze grenzen zullen enger zijn naarmate de belangen die met de mogelijke gevolgen van een ingreep zijn gemoeid, zwaarder worden beoordeeld.

Een voorbeeld ter verduidelijking. Het kan voorkomen dat men niet wil dat in een bepaald gebied de grondwaterstand als gevolg van een elders geplande grondwaterwinning, waarvoor vergunning wordt aangevraagd, meer dan 10 cm daalt. Een doelstelling van het hydrologische onderzoek dat voor dit geval wordt ingesteld, zou kunnen zijn aan te geven wat de kans is, dat overschrijding van die 10 cm toch optreedt. Dit betekent dat het gekozen model in ieder geval in staat moet zijn resultaten te leveren met een betrouwbaarheid die binnen de 10 cm ligt. Als dit niet mogelijk is, zal op grond van de modelresultaten door beleidsinstanties afwijzend over het project worden beslist. Wil men toch graag goedkeuring krijgen voor het project, dan doet men er in dit geval goed aan uit te zien naar een model dat resultaten oplevert binnen engere betrouwbaarheidsgrenzen, dan het eerder gekozen model (waaraan vanzelfsprekend de benodigde gegevens moeten zijn aangepast). Dit voorbeeld toont aan dat ook de gewenste betrouwbaarheid van de modelresultaten, afgeleid uit het belang van de mogelijke gevolgen, een rol speelt bij de modelkeuze. Eenzelfde type voorbeeld van de definitie van gewenste betrouwbaarheid is vanzelfsprekend ook op te stellen met betrekking tot de concentratie van een stof in het grondwater.

In hoofdstuk 4 zal dieper worden ingegaan op de technische betekenis van de betrouwbaarheid van modelresultaten.

3.3.6. Beschikbaarheid van faciliteiten

In de voorgaande paragrafen is aangegeven welke elementen nodig zijn om een model te kunnen kiezen, maar nog niet waaruit gekozen kan worden. Wat dus nog ontbreekt is een overzicht van beschikbare faciliteiten waaruit een keuze gemaakt kan worden die het beste past bij het op te lossen probleem.

In Nederland zijn momenteel twee overzichten van beschikbare faciliteiten voor grondwateronderzoek bekend (overigens alleen beperkt tot computerprogramma's). Eén ervan is vermeld in het verslag van de "Ad Hoc groep Grondwatermodellen en Computerprogrammatuur van de CHO-TNO (CHO-TNO, 1978). Het ander is het resultaat van een enquête, gehouden door de CIAD-werkgroep "Bemaling van grondwater" (CIAD, 1979). Beide overzichten zijn gebaseerd op een indeling naar hydrologische kenmerken.

Door middel van een systeem van plussen en minnen wordt aangegeven over welke andere eigenschappen en kenmerken de modellen beschikken (bijvoorbeeld welke

schematiseringen erin zijn verwerkt, welke uitvoerparameters mogelijk zijn, welk rekensysteem wordt gebruikt, etc.).

In principe is dit een goed systeem. Een probleem is vaak dat er erg veel modelkenmerken zijn, zodat de overzichten zeer uitgebreid kunnen worden. Voor een niet goed in modeltechnieken ingevoerde gebruiker kan dit bezwaarlijk zijn. In een aparte subgroep van de Contactgroep is daarom gezocht naar mogelijkheden voor een meer gebruikersvriendelijke indeling. Getracht is om een zoekstelsel te ontwerpen met als ingang de verschillende typen hydrologische problemen. Al spoedig bleek echter dat met de meeste grondwatermodellen vrijwel alle typen problemen konden worden aangepakt. Dit betekende dat er op grond van dit keuzecriterium nauwelijks een selectie van modellen mogelijk was. De conclusie van de subgroep was dan ook dat een indeling op hydrologische kenmerken het best hanteerbare systeem is.

3.3.7. Beschikbare middelen

De beschikbare geldelijke middelen worden veelal bepaald door de grootte van de belangen die op het spel staan en door de omvang van het project.

De kosten die zijn verbonden aan het werken met modellen, kunnen worden opgesplitst in de volgende onderdelen:

- a. de kosten van het ontwikkelen of aanpassen van het rekensysteem, het wiskundige model (incl. het computerprogramma);
- b. kosten van het opstellen van het hydrologische schema, het geometrische model;
- c. kosten van het verzamelen en verwerken van de gegevens;
- d. rekenkosten;
- e. kosten van eventuele verdere verwerking en van het presentabel maken van de resultaten.

In principe zijn alleen de onder a genoemde kosten eenmalig. Zij zijn echter vaak aanzienlijk en zullen veelal, bv. via een opslag op de rekenkosten, als overhead bij elk project in rekening worden gebracht. Als zodanig kan het een bepalende factor zijn bij de modelkeuze.

De overige kostensoorten verschillen per probleem maar ook per type model en kunnen daarom een grote invloed hebben op de modelkeuze. De kosten van gegevensverzameling vormen een groot deel van de totale kosten.

3.4. GEBRUIK MODEL

3.4.1. Inleiding

In het vorige hoofdstuk (hoofdstuk 3.3) is de keuze van het model besproken. In de meeste gevallen zal het hierbij om de keuze van een computerprogramma gaan, dat, eenmaal "gevoed" door invoergegevens, een "model" zal vormen. De invoergegevens betreffen de navolgende groepen gegevens:

- discretisering in ruimte en tijd;
- hydrologische parameters.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op diverse aspecten van het gebruik van de voornoemde invoergegevens in het kader van de modeltoepassing. Voordat de invoergegevens in paragraaf 3.4.4 nader beschouwd worden zal eerst aandacht worden gegeven aan de begrippen "nauwkeurigheid en betrouwbaarheid" (par 3.4.2) en aan het belang van een adequate formulering van de doelstelling van het modelonderzoek (par. 3.4.3). Nadat de invoergegevens zijn besproken zal achtereenvolgens worden ingegaan op de calibratie (par. 3.4.5), gevoeligheidsanalyse (par. 3.4.6), verificatie (par. 3.4.7) en de toepassing (par. 3.4.8) van het model.

Benadrukt wordt dat de in dit hoofdstuk weergegeven activiteiten van de modelgebruiker slechts de eigenlijke modeltoepassing betreffen en niet de interpretatie en de vervolgbewerkingen van modelresultaten ten behoeve van de realisering van de doelstelling van de hydrologische studie, waarvan het modelgebruik een onderdeel is.

3.4.2. Nauwkeurigheid en betrouwbaarheid

De waterstroming en/of de kwaliteitsverandering in de verzadigde en onverzadigde zone van de grond kan in het algemeen worden beschreven met een differentiaalvergelijking of met een stelsel van gekoppelde differentiaalvergelijkingen. Slechts in een beperkt aantal gevallen kan voor deze vergelijkingen de exacte oplossing worden gevonden. Indien de exacte oplossing niet kan worden gegeven, kan voor de differentiaalvergelijking langs numerieke weg een benaderende oplossing worden verkregen. De meest bekende numerieke technieken zijn de methoden van de eindige elementen en van de eindige differenties. De numeriek verkregen oplossing is benaderend in de zin dat er, zowel in het ruimte- als tijddomein in het algemeen een afwijking bestaat tussen de numerieke oplossing en de exacte (onbekende) oplossing van de differentiaalvergelijking.

De mate waarin de numerieke oplossing de exacte oplossing benadert, wordt de nauwkeurigheid van modelresultaten genoemd.

Naast de precisie van de computer en het effect van mogelijke convergentiecriteria is de nauwkeurigheid van modelresultaten vooral afhankelijk van de mate van discretisering in ruimte en tijd. In het algemeen geldt dat naarmate de grootte van elementen of blokken (bij respectievelijk eindige elementen- of eindige differentiemethode) afneemt en/of de grootte van de tijdstap afneemt, de numerieke oplossing de exacte (onbekende) oplossing dichterbij zal benaderen, met andere woorden de nauwkeurigheid van modelresultaten neemt toe.

Een voorbeeld van de weergave van de nauwkeurigheid van modelresultaten zou kunnen zijn:

"De onnauwkeurigheid van de met het model berekende grondwaterstandsverlagingen is over het hele modelgebied kleiner dan 3,5 cm".

Aangetekend dient te worden dat de resultaten van grondwaterkwaliteitsmodellen doorgaans met een aanzienlijk grotere onnauwkeurigheid behept zijn dan de resultaten van grondwaterkwantiteitsmodellen. Dit heeft vooral te maken met de oplossingstechniek voor de advectieterm in de differentiaalvergelijking voor het grondwaterkwaliteitsvraagstuk.

Het is in de meeste gevallen niet mogelijk om de nauwkeurigheid van modelresultaten in absolute zin aan te geven, aangezien de exacte oplossing niet bekend is. In dergelijke gevallen kan worden volstaan met het nagaan van het relatieve effect van de factoren die de nauwkeurigheid beïnvloeden door de uitvoering van de gevoeligheidsanalyse (zie par. 3.4.6). De gevoeligheidsanalyse houdt bijvoorbeeld in het maken van twee modelberekeningen met verschillende mate van schematisering. Indien het relatieve effect van de verandering van de schematisering op de modeluitkomsten zeer klein is, mag in vele gevallen worden aangenomen dat de onnauwkeurigheid in absolute zin voldoende klein is. Een dergelijk onderzoek naar de nauwkeurigheid van modelresultaten is bij kwantiteitsvraagstukken meestal niet nodig gezien het beduidend sterkere effect van de betrouwbaarheid van modelresultaten. Bij kwaliteitsvraagstukken is een dergelijke nauwkeurighedsanalyse in de meeste gevallen echter wel aan te bevelen.

Terwijl door middel van het begrip nauwkeurigheid in principe een eenduidig te kwantificeren "fout in modelresultaten" wordt uitgedrukt, wordt door middel van het begrip betrouwbaarheid de "onzekerheid" aangegeven waarmee de modelresultaten

afwijken van de werkelijkheid. Een groot probleem is dat men modelresultaten niet altijd kan toetsen aan de werkelijkheid, omdat:

- er geen gegevens beschikbaar zijn;
- het prognoses voor de toekomst betreft.

De verschillen tussen de uitkomsten van het model en de werkelijkheid worden dikwijls veroorzaakt doordat de in het model gebruikte gegevens slechts schat-tenderwijs kunnen worden vastgesteld. Voorbeelden hiervan zijn het gebruik van geschatte waarden voor het doorlaatvermogen van de grond (verzadigd en onverza-digd), drainageweerstanden van open leidingen, grondwaterstijghoogten op een modelrand, "nuttige" neerslag, e.d.

De betrouwbaarheid van modelresultaten zou op diverse manieren kunnen worden gepresenteerd, bijvoorbeeld als ranges van waarden met een bepaalde kans van voorkomen. Een dergelijke weergave zou bijvoorbeeld kunnen zijn:

- de kans dat de met het model op een bepaalde plaats berekende verlagingen van de grondwaterstand in werkelijkheid groter zullen zijn dan 40, 50 en 60 cm is respectievelijk 32,6%, 16,5% en 4,1%;
- de kans dat de met het model berekende reductie van de verdamping in werkelijkheid een waarde zal hebben die tussen 40 en 60 mm ligt is 93,8%.

Om de betrouwbaarheid van modelresultaten te kunnen kwantificeren moet eerst de betrouwbaarheid van modelgegevens op een statistische wijze kwantitatief worden weergegeven en als zodanig in het grondwatermodel worden gehanteerd. Kwantifice-ring van de betrouwbaarheid van modelgegevens zou onder andere door toepassing van inverse modellen kunnen worden bereikt. Dit zijn modellen voor de verzadigde grondwaterstroming waarmee met behulp van gemeten grondwaterstanden en bijbeho-rende randvoorwaarden bodemconstanten kunnen worden berekend. In Nederland zijn op dit moment noch de inverse modellen, noch grondwatermodellen ten behoeve van de bepaling van de betrouwbaarheid van modelresultaten beschikbaar.

Het zou van belang zijn om nu reeds bij de gegevensverzameling in het veld, en interpretatie van dergelijke veldgegevens (kartering), meer aandacht te geven aan onbetrouwbaarheidsaspecten.

3.4.3. Doelstelling modelonderzoek

Het belang van een adequate formulering van de doelstelling van het modelonder-zoek is evident: daarmee wordt in zeer sterke mate richting gegeven aan de wijze

waarop van het model gebruik wordt gemaakt, met als doel binnen de gegeven tijdsruimte een optimale besteding van financiële middelen en mankracht te bewerkstelligen.

De doelstelling van het modelonderzoek moet door middel van zeer concrete, eenduidige hydrologische begrippen worden weergegeven. Een onderdeel van deze hydrologische modeltechnische doelstelling zou ook de betrouwbaarheid van modelresultaten moeten betreffen. De doelstelling van een modelonderzoek zou bijvoorbeeld kunnen zijn: "Bereken de tijdsafhankelijke verlaging van het freatische vlak in gebied A gedurende de opeenvolgende, meteorologisch gemiddelde groeiseizoenen als er elk jaar begin mei in gebied B een constante grondwateronttrekking wordt gestart (nadere specificatie debiet en ligging putten), die gedurende 3 maanden wordt gecontinueerd, en als in gebied C het peil van het oppervlaktewater tijdens elk groeiseizoen met een bepaalde hoogte ten opzichte van het bestaande niveau wordt opgezet. Bereken tevens de betrouwbaarheid van de voorspelling van de voornoemde verlagingen".

3.4.4. Invoergegevens model

In deze paragraaf wordt ingegaan op de voor de modelberekening benodigde invoergegevens. Deze gegevens kunnen op vele wijzen (onderverdeling in groepen) worden gepresenteerd. In dit rapport wordt de navolgende indeling gehanteerd:

- a. discretisering in ruimte en tijd;
- b. hydrologische parameters.

De invoergegevens voor het sturen van het rekenproces, zoals convergentiecriteria en parameters van de numerieke techniek, zullen in dit rapport niet worden besproken.

ad a. Discretisering in ruimte en tijd

Als gebruik wordt gemaakt van numerieke modellen moet het modelgebied (een-, twee- of driedimensionaal) in een aantal subgebieden worden verdeeld. Bij de eindige elementenmethode noemt men deze subgebieden "elementen". Een dergelijke opdeling van ruimte door elementen heet dan "ruimtelijke discretisering".

Wat de geometrie van het onderzoeksgebied betreft moet informatie worden gegeven over de locaties van zaken zoals modelranden, drainagestelsels, plassen, grondwaterwinningen, e.d.

De mate waarmee de modelinvoer de werkelijke geometrie weergeeft beïnvloedt de modelresultaten. Men zou immers de werkelijke geometrie ten behoeve van een model in principe exact kunnen weergeven.

Bij de toepassing van numerieke niet-stationaire grondwatermodellen wordt de door te rekenen tijdsperiode in een aantal tijdstappen verdeeld. Een dergelijke onderverdeling heet een "discretisering in tijd".

De mate van discretisering naar ruimte en tijd is van invloed op de nauwkeurigheid van de modelresultaten. Door de elementen en/of tijdstappen voldoende klein te kiezen kan de onnauwkeurigheid ten gevolge van de discretisering naar behoefte worden beperkt.

In de meeste gevallen zal de onnauwkeurigheid verwaarloosbaar klein zijn ten opzichte van de onbetrouwbaarheid van de modelresultaten. Dit laatste is het gevolg van de onzekerheid over de waarden van de hierna te bespreken hydrologische parameters.

ad b Hydrologische parameters

Onder hydrologische parameters worden alle invoergegevens verstaan die niet bij ad a zijn besproken. Door middel van deze parameters wordt enerzijds de fysische structuur van het in het model weergegeven hydrologische systeem vastgelegd, anderzijds worden daarmee ook de invloeden op het systeem beschreven. De hydrologische parameters kunnen worden onderverdeeld in de tijdsonafhankelijke parameters (bv. het doorlaatvermogen van watervoerende pakketen of dispersiviteit) en tijdsafhankelijke parameters (bv. aanvulling van het grondwater of de concentratie van een stof in vuilstortpercolaat).

3.4.5. Calibratie model

Onder calibratie van het model wordt hier verstaan de bepaling van de waarden van de hydrologische parameters, zoals deze in de voorgaande paragraaf zijn omschreven. Hierna zal achtereenvolgens worden ingegaan op de in ontwikkeling zijnde inverse calibratietechniek en de thans gebruikelijke "trial and error" calibratieaanpak.

Een van de technieken waarmee in de (naaste) toekomst een geohydrologisch model zal kunnen worden gecalibreerd, voorlopig alleen wat betreft bodemconstanten in

de verzadigde zone, zijn de inverse modellen. Uitgaande van de beschikbare gegevens over grondwaterstanden en afvoeren en gebruik makende van de kwalitatieve kennis over de geohydrologische opbouw, kan met behulp van een inverteers model een kwantitatief beeld worden verkregen over bijvoorbeeld de ruimtelijke variatie van het doorlaatvermogen van een watervoerend pakket. Een inverteers model kan worden gebruikt in combinatie met aanvullende metingen, zoals pompproeven. Behalve dat een dergelijke wijze van calibratie beduidend goedkoper kan zijn in vergelijking met het uitvoeren van diepe boringen kan met behulp van een inverteers model ook een beeld worden verkregen van de betrouwbaarheid van de daarmee berekende bodemconstanten (In Nederland zijn thans geen inverse modellen beschikbaar. Dergelijke modellen worden momenteel voornamelijk in de Verenigde Staten ontwikkeld.).

Een gangbare aanpak bij de calibratie van een model is de zogenaamde "trial and error" methode. Daarbij worden de waarden van bodemconstanten zodanig gewijzigd totdat de met het geohydrologische model berekende grondwaterstanden en/of fluxen met de werkelijke grondwaterstanden c.q. fluxen "voldoende" overeenstemmen. Voor het hanteren van de "trial and error" methode is het een vereiste dat de hydroloog-modelgebruiker ook een inzicht heeft in de geohydrologische opbouw van het desbetreffende modelgebied. Dit heeft te maken met het feit dat nagenoeg dezelfde modelresultaten met een zeer groot aantal verschillende combinaties van parameterwaarden kunnen worden verkregen. Als hulpmiddel van de "trial and error" calibratiemethode kan gebruik worden gemaakt van de gevoeligheidsanalyse van modelresultaten (zie par. 3.4.6). Op deze wijze kunnen die invoergegevens worden bijgesteld die relatief de sterkste invloed op de modelresultaten hebben.

Met de inverse modellen is nog weinig ervaring opgedaan maar het ziet er naar uit dat de "trial and error" methode ten opzichte van de inverse techniek de volgende nadelen heeft:

- men kan er nimmer zeker van zijn dat de als "beste" gekozen combinatie van parameterwaarden inderdaad de "beste" is (inverse methode is objectief);
- er kan geen inzicht worden verkregen in de betrouwbaarheid van parameterwaarden;
- de methode is duur in uitvoering en zeer arbeidsintensief;
- de methode leidt in de praktijk veelal tot teleurstellende resultaten of het ontbreken van vertrouwen in de betrouwbaarheid van de parameterwaarden.

Er dient echter bedacht te worden dat de inverse techniek ook niet altijd succesvol kan zijn, dit vooral door een gebrek aan (betrouwbare) gegevens.

3.4.6. Gevoeligheidsanalyse

De gevoeligheidsanalyse houdt in:

- het effect van structurele veranderingen in een model evalueren.

Een voorbeeld van een dergelijke verandering kan zijn het toepassen van twee verschillende typen randvoorwaarden.

- Het relatieve belang van de schematisering (in ruimte en/of tijd), van parameters en randvoorwaarden bepalen.

Een gevoeligheidsanalyse kan zowel de initiële en andere randvoorwaarden als alle parameters van het model omvatten.

Veranderingen in uitkomsten zijn een maat voor de veranderingen in het gehele systeemgedrag in vergelijking tot een referentiesituatie.

Voor een gevoeligheidsanalyse zal men van deze referentiesituatie uit moeten gaan, waarbij vervolgens de relevante parameters en randvoorwaarden worden gevarieerd. De aan te brengen variaties zullen fysisch verantwoord moeten zijn. Het maar lukraak alle variabelen met een zeker percentage veranderen geeft vaak aanleiding tot onzinnige uitkomsten.

3.4.7. Verificatie model

De verificatie van het model betekent niets meer en niets minder dan toetsing van het model aan de waargenomen werkelijkheid. Daarvoor dienen waarnemingen in het veld te worden gebruikt. Dit zullen bij voorkeur waarnemingen zijn die niet reeds voor de ijking van het model zijn gebruikt.

Het is van groot belang dat verificatie plaatsvindt. Hieruit zal namelijk duidelijk worden of het desbetreffende model geschikt is voor toepassingen in de praktijk, dat wil zeggen of het geschikt is voor het maken van voorspellingen. Voor de verificatie dienen daarom vooral gedragingen van het model onder extreme situaties (bijvoorbeeld droog, nat jaar) worden meegenomen. Hierdoor wordt voorkomen dat met het model hydrologische situaties worden voorspeld waarvoor het model niet is geverifiëerd.

De beoordeling van de kwaliteiten van een model geschiedt aan de hand van door de modelgebruiker op te stellen criteria. Terwille van de objectiviteit zou het wenselijk zijn kwantitatieve criteria te hanteren, bijvoorbeeld de in statistische zin uitgedrukte nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van het model.

3.4.8. Toepassing model.

Nadat in de verificatiefase vastgesteld is dat het model aan de gestelde verificatiecriteria voldoet, kan het model worden gebruikt om de doelstelling van het modelonderzoek te realiseren.

Zoals in 3.4.3 is besproken zou een belangrijk onderdeel van deze doelstelling de betrouwbaarheid van modelresultaten moeten zijn.

Benadrukt wordt nog eens dat voor voorspellend gebruik van het model voorkomende hydrologische situaties niet wezenlijk anders mogen zijn dan de situaties die voor de calibratie en verificatie van het model zijn gebruikt.

Nadat een model resultaten heeft opgeleverd (doelstelling van het modelonderzoek is dus gerealiseerd) worden deze resultaten in het kader van de hydrologische studie, waarvan het desbetreffende modelonderzoek een deel heeft uitgemaakt, geïnterpreteerd en benut.

Evaluatie van modelresultaten zou, met name bij het niet voldoen aan de verwachtingen met betrekking tot betrouwbaarheid van modelresultaten, kunnen leiden tot een beslissing om aanvullende (of meer betrouwbare) modelinvoergegevens te gaan verzamelen.

4. STAND VAN ZAKEN GRONDWATERKWALITEITSMODELLEN

Ir. L.J.M. Boumans

4.1. Inleiding

De studiebijeenkomst "Grondwaterkwaliteit in relatie met onderzoek en beleid" is een vervolg op de workshop "Waterkwaliteit in grondwaterstromingsstelsels" welke door de CHO-TNO op 1 en 2 april 1980 is gehouden. Tijdens deze workshop is o.a. de volgende stelling aan de orde gesteld:

"Er dient een groep in het leven te worden geroepen, die zich bezig gaat houden met de bouw en toepassing van grondwaterkwaliteitsmodellen."

Deze stelling en een brief van de Contactgroep Grondwatermodellen van 1980 waarin ook aanbevolen wordt een aparte groep op te richten die zich bezighoudt met grondwaterkwaliteitsmodellen, zijn voor het Klein Comité van de CHO aanleiding geweest om een inventarisatie uit te voeren naar:

- modellen over grondwaterkwaliteit in relatie met kwantiteit;
- de samenwerkingsverbanden;
- de behoeften op dit gebied.

Voor dit doel is de begeleidingscommissie "Grondwaterkwaliteit" samengesteld, bestaande uit dezelfde personen die bij eerder genoemde workshop betrokken zijn geweest. Het project is gefinancierd door het voormalige Ministerie van Volkshuisvesting en Milieuhygiëne. De feitelijke inventarisatie heeft plaatsgevonden in de periode van september 1981 tot en met juli 1982. Deze inventarisatie is opgenomen in: Rapporten en Nota's no. 11 van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 1982. Hieronder volgt een overzicht van het onderzochte terrein, de werkwijze en de bevindingen. De termen computerprogrammatuur, programmatuur en programma worden door elkaar heen gebruikt.

4.2. Terreinafbakening

Het accent van de inventarisatie heeft in het begin gelegen op de wiskundige formules en in het bijzonder op computerprogrammatuur. Tijdens de eerste vergadering van de begeleidingscommissie is besloten alleen die modellen te inventariseren die voor kwaliteitsdoeleinden zijn gemaakt en waarbij het grondwater centraal staat. De grens tussen kwantiteits- en kwaliteitsmodellen wordt gelegd op modellen die stroombanen en verblijftijden van het water berekenen. Modellen

specifiek voor de zoet-zout-problematiek zijn niet bekeken. Naast een technische inventarisatie is ook gekeken naar de samenwerkingsverbanden op het gebied van de grondwaterkwaliteit in het algemeen. Dit alles heeft geresulteerd in overzichten genoemd in de paragrafen van hoofdstuk 3 in het rapport: "Inventarisatie Grondwaterkwaliteitsmodellen". Deze zijn met name:

- mathematische formules en programmatuur;
- instellingen en projecten;
- werkgroepen en commissies;
- Nederlandse tijdschriftartikelen;
- workshops, bijeenkomsten en handboeken;
- buitenlandse projecten.

In paragraaf 3 van hoofdstuk 1 van het rapport vindt u de aspecten die door de begeleidingscommissie zijn genoemd voor de selectie van gegevens ten behoeve van deze overzichten. Deze zijn achtereenvolgens bronnen, stoffen, processen, hydrologie en achtergronden (onderzoek, beleid).

De bronnen zijn verder onderverdeeld in diffuse en lokale bronnen. De lokale bronnen die met name zijn genoemd zijn "vuilstort", "opslag en transport" en "civieltechnische werken". Onder vuilstort is zowel begrepen persputten en het storten van huishoudelijk afval, vliegas en slib. Als diffuse bronnen zijn landbouw, infiltratie, luchtverontreiniging, verstedelijking en industrie genoemd. De stoffen zijn in drie hoofdgroepen onderverdeeld. Deze zijn organische stoffen anorganische stoffen, bacteriën en virussen. De organische stoffen zijn verder onderverdeeld in organische halogeenvbindingen, minerale oliën en derivaten en bestrijdingsmiddelen. Van de anorganische stoffen zijn met name zware metalen, cyaniden, radio-actieve stoffen, stikstof, fosfaat en de resterende macroparameters genoemd. Macroparameters zijn stoffen waarvan het gehalte onder normale omstandigheden wordt uitgedrukt in mg/l.

De processen zijn verder onderverdeeld in dispersie, diffusie, stroming onder invloed van dichtheids- en viscositeitsverschillen, fysisch-chemische, chemische en biochemische processen en radio-actief verval.

Ten aanzien van de hydrologie zijn de relaties van het water in de verzadigde zone met respectievelijk de onverzadigde zone, het oppervlaktewater, oppervlakkige afspoeling en neerslag en verdamping genoemd. Tot slot vermeld de "achtergronden" voor welke doel (onderzoek of beleid) het model is gemaakt.

4.3. Werkwijze

Voor de overzichten is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van reeds bestaande inventarisaties. Ter aanvulling hierop heeft een literatuuronderzoek, een schriftelijke enquête en een gespreksronde in Nederland en Amerika plaatsgevonden. De gespreksronde in Nederland heeft tevens tot doel gehad om wensen op het gebied van de grondwaterkwaliteitsmodellering te signaleren. De gespreksronde in Amerika is bedoeld om meer informatie te verzamelen over de praktische toepassing van programmatuur.

Bij het samenstellen van het overzicht "Mathematische formules en programmatuur" is gebruik gemaakt van publicaties van:

- Het MER-team BODEM, welke in opdracht van de overheid methodieken selecteert die het effect van activiteiten op de bodem moeten voorspellen.
- Het IGWMC; International Groundwater Modelling Center, een Amerikaanse instelling, welke gegevens over programmatuur voor grondwater verzamelt, voorlichting geeft en cursussen organiseert. Bij deze instelling heeft ook een detachering plaatsgevonden.
- De Contactgroep Grondwatermodellen, van de CHO.

Het overzicht van instellingen en projecten is direct geënt op de publicaties van het Studie en Informatiecentrum TNO voor Milieu-onderzoek. Middels schriftelijke enquête zijn aanvullingen verkregen.

Het was moeilijk om over werkgroepen en commissies betrouwbare informatie te vinden doordat vele een onofficieel en tijdelijk karakter en een sterk wisselende bezetting hebben. Bij het samenstellen van het overzicht is uiteindelijk alleen gebruik gemaakt van publicaties van de Nationale Raad voor Landbouwkundig Onderzoek, het Ministerie van V. en M. en de archieven van de CHO.

Voor het overzicht van tijdschriftartikelen is gebruik gemaakt van een publicatie van Ir. K.D. Venhuizen, waarin artikelen genoemd worden die voor 1976 gepubliceerd zijn. Via het data-bestand van Aqualine zijn aanvullingen verkregen tot 1982.

Gegevens over bijeenkomsten en handboeken zijn door de begeleidingscommissie aangeleverd.

Tijdens de Nederlandse gespreksronde is veel gerefereerd naar het werk van Amerikaanse onderzoekers. Daarom is via de data-base van de NTIS een overzicht aangevraagd van rapporten, handelend over de mathematische modellering van grondwaterkwaliteit. Deze rapporten zijn voor een ieder opvraagbaar, o.a. bij de bibliotheek van de TH te Delft.

4.4. Bevindingen

Tijdens de gespreksronde is gebleken dat de begrippen model en programmatuur door elkaar worden gebruikt. Een model kan echter elke bruikbare voorstelling van een systeem zijn, met de bedoeling om te voorspellen, hypothesen te testen of voor communicatie. Op deze wijze gedefiniëerd vallen onder het begrip model ook kaarten, grafieken, tabellen en fysische analogons.

Volgens mondelinge mededelingen van leden van de Contactgroep Grondwatermodellen is programmatuur alléén geen model. Eerst nadat parameters en randvoorwaarden van een bestaande situatie zijn ingevoerd wordt een model verkregen.

Modellen zijn onder te verdelen in deductieve en inductieve modellen. Deductieve modellen gaan uit van een zo compleet mogelijke formulering van de bekende processen en trachten door het bepalen van parameters en randvoorwaarden, calibratie genoemd, een werkelijke situatie te beschrijven.

Inductieve modellen proberen door middel van zo weinig mogelijk parameters een situatie te beschrijven. De geldigheid van een inductief model hangt af van het aantal keren dat het model juist is bevonden. Het testen van een inductief model wordt verificatie genoemd.

Deductieve modellen hebben een grotere geldigheid dan inductieve, maar calibratie eist veel meer tijd dan verificatie. Zuivere deductieve of inductieve modellen bestaan echter niet. Alle modellen moeten zowel gecalibreerd als geverifiëerd worden, waarbij het accent verschilt.

Modellen kunnen ook deterministisch of stochastisch worden genoemd. Deterministisch wil zeggen, dat er maar één uitkomst is, bij gegeven waarden voor randvoorwaarden en parameters. Stochastisch wil zeggen dat de uitkomst een kansdichtheid heeft.

Een lumped parameter model is een model dat alleen de variatie in de tijd van de variabelen beschrijft en niet in de ruimte. Een Black-Box model is een lumped parameter model waarvan de parameters in hoge mate geaggregeerd zijn. Andere classificaties van modellen zijn o.a. mathematisch, analytisch en stationair.

Momenteel staat computerprogrammatuur in Nederland sterk in de belangstelling en wordt er, volgens sommige, geheimzinnig over gedaan. Dit betreft speciaal programmatuur voor het advectie-dispersie proces.

Advectie is de stroming van water in een medium en wordt meestal beschreven door de massabalans van water te combineren met de wet van Darcy. Modellen die alleen waterstroming beschrijven kunnen ook gebruikt worden voor kwaliteitszaken, indien de, door het water meegevoerde, stof geen chemische reacties aangaat met het medium of andere opgeloste stoffen, en niet wordt afgebroken, oftewel wanneer de stof conservatief is. In deze gevallen is de berekening van stroombanen en verblijftijden van het water voldoende.

De betreffende programmatuur hiervoor kan gevonden worden op het Laboratorium voor Grondmechanica (LGM) en het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (RID). Dit zijn respectievelijk de programma's SEEP van het LGM en FLOP, FRONT en FEMFLO van het RID. Indien echter de meegevoerde stof in hoge concentraties in het water aanwezig is, zal zij de stroming van het water beïnvloeden door de optredende dichtheidsverschillen. MOTGRO, een programma van de Dienst Informatieverwerking van Rijkswaterstaat, kan hiermee ook rekening houden.

Door diffusie en doordat het water om de korrels van de bodem heenstroomt, ontstaat er een spreiding van de stroomsnelheid van de stof ten opzichte van de gemiddelde stroomsnelheid van het water. Dit wordt hydrodynamische dispersie genoemd. Modellen die rekening houden met hydrodynamische dispersie zijn GROQUA van het Waterloopkundig Laboratorium (WL), VERA van het Laboratorium voor Grondmechanica (LGM), TRANS van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), INTERRA en KONIKOW-BREDEHOEFT van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (RID) en eveneens de modellen van het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen (IOB), het Instituut voor Toepassing van Atoomenergie in de Landbouw (ITAL) en de Landbouwhogeschool (LH).

Tijdens de gespreksronde in Nederland is gebleken dat programmatuur voor het dispersieproces in meer dan één dimensie onder niet-stationaire omstandigheden moeilijk te programmeren is en veel rekentijd kost. Programmatuur voor het dispersieproces in meer dan één dimensie, zijn de reeds genoemde programma's van het WL, LGM, RID en ICW. INTERRA, een model van het RID berekent zowel advectie, dispersie als dichtheidsstroming in drie dimensies onder invloed van temperatuur en concentratieverschillen. Het programma VERA van het LGM kan relatief complexe fysisch-chemische processen beschrijven. Al deze programma's behalve GROQUA van het WL zijn geïmporteerd uit de Verenigde Staten.

De één-dimensionale programma's van het IOB, ITAL en LH zijn zelf geschreven. In deze modellen ligt het accent op fysisch-chemische en biologische processen van de stof en vaak ook op de onverzadigde stroming van het water. Overigens kwam tijdens de gesprekken naar voren dat de kennis van de parameters en randvoorwaarden achterliep op de kundigheid om deze processen te modelleren. Volgens medewerkers van deze instituten is deze programmatuur niet bedoeld om bestaande situaties van grondwaterverontreiniging door diffuse bronnen te beschrijven en als zodanig zijn ze ook niet geschikt voor beleid. Voor deze situaties dienen eenvoudige, goed geverifiëerde, modellen ontwikkeld te worden. Ook personen die bij het beleid zijn betrokken hebben behoefte aan eenvoudige modellen voor de diffuse verontreinigingsproblematiek.

Indien een vergelijking gemaakt wordt tussen Nederland en Amerika dan valt het op dat hier programmatuur voor de complete hydrologische cyclus met diffuse en lokale bronnen ontbreekt. Deze programmatuur staat bijvoorbeeld vermeld in bijlage A op bladzijde A-23 van het reeds eerder genoemde rapport.

Gespreksronde in de Verenigde Staten.

Veel Nederlandse programmatoorschrijvers refereerden naar het werk van hun collega's in de Verenigde Staten en veel programmatuur uit de VS is hier aanwezig. De begeleidingscommissie heeft daarom besloten tot een studiereis met het doel om beter geïnformeerd te worden over de praktische toepassing van programmatuur. Het International Groundwater Modelling Center (IGWMC) vervult een brugfunctie tussen programmatoorschrijvers en programmatoergebruikers in de Verenigde Staten. De Principal Investigator van deze instelling is een gastmedewerker uitgeleend door de Dienst Grondwaterverkenning TNO. Op verzoek van de begeleidingscommissie heeft deze instelling de gelegenheid gegeven voor een uitgebreide oriëntering. Tevens is door deze instelling een gespreksronde voorbereid langs universiteiten, overheidsinstellingen en een bekend ingenieursbureau. Een groot deel van de bezochte personen is direct betrokken geweest bij verontreiniging van aquifers veroorzaakt door locale bronnen. De toepassing van de meerdimensionale advection-dispersie programmatuur in deze situaties werd door vele inefficiënt genoemd. Het voornaamste bezwaar was het gebrek aan goede en voldoende data. Leonard Konikow, medewerker van de United States Geological Survey, en mede-auteur van het reeds genoemde Konikow-Bredehoeft model, vertelt over een tracerproef in

een veld waarvan men dacht dat de geohydrologische situatie voldoende bekend was. Twee putten werden op een afstand van 20 voet uit elkaar geplaatst en in een put werd een tracer geïnjecteerd. De piek van de tracer werd na 10 dagen verwacht, deze kwam echter al na acht uur.

Jerry Thorntill, geoloog en werkzaam bij de Environmental Protection Agency (EPA), begeleidt veel projecten die door particuliere bureaus voor de overheid worden uitgevoerd. Hij kent géén geval waar een advectie-dispersie model nuttig is gebleken. Volgens hem wordt er gemodelleerd zonder goede en voldoende data. Data verzameling door een grote hoeveelheid monitoringputten is ook niet een goede oplossing. Volgens hem moeten geofysische technieken en monitoringputten in goede verhouding samen gebruikt worden. Hij noemt in dit kader de firma Benson and Claccum Technics Inc. in Florida.

Joseph Keeley, hydroloog en eveneens werkzaam bij de EPA vertelt dat er in enkele gevallen bij rechtszaken gebruik is gemaakt van programmatuur, maar dit gebeurde om door de complexiteit van het model de werkelijke oorzaak te verdoezelen. Hij vindt het wenselijk dat programmatuur op zijn numerieke vaardigheid wordt getest alvorens deze algemeen gebruikt gaat worden.

Volgens David Pollock, hydroloog bij de USGS,^{*} zijn veel ingenieurs handiger in het oplossen van vergelijkingen dan in toepassen van veldsituaties.

Jan Wagner, professor Chemical Engineering, Oklahoma State University, zegt "We have no concepts but all the numerical methods".

Wayne Pettyjohn, professor Geology, Oklahoma State University, heeft een aantal advectie-dispersie modellen verzameld om ze uit te testen op stortplaatsen. Van maar 12 plaatsen waren gegevens bekend, maar deze waren niet voldoende voor de programmatuur. Wayne vindt dat de studenten tegenwoordig te veel wiskunde leren en te weinig veldervaring hebben. Hij is bezig met het verzamelen van eenvoudige programmatuur voor zakrekenmachines voor gebruik in het veld.

Jim Mercer is mede-directeur van het ingenieursbureau Geo-Trans. Deze instelling heeft naam gekregen door zijn programmatuur voor massatransport. Volgens Mercer is in veel gevallen het gebruik van deze programmatuur niet geoorloofd. Het bureau gebruikt de programmatuur alleen in geval van zoet-zout-stroming, waarin de dichtheidsverschillen niet verwaarloosd kunnen worden en in geval van opslag van radio-actief materiaal indien de geologische situatie zeer goed bekend is.

*) United States Geological Survey

4.5. Samenvatting

- Er is behoefte aan eenvoudige geverifiëerde modellen die het effect van activiteiten op de grondwaterkwaliteit beschrijven. Hoewel er misschien genoeg onderzoek gedaan wordt zijn de resultaten mogelijk te verspreid aanwezig in de diverse instellingen en onvoldoende geëvalueerd.
- Benodigde parameters voor advectie-dispersie programmatuur zijn vaak niet beschikbaar of onvoldoende nauwkeurig bekend. Vakmanschap is in deze situaties voor een juist model noodzakelijk. Momenteel wordt in Amerika programmatuur verzameld welke direct in het veld kan worden toegepast.
- De ontwikkeling van programmatuur gaat nog steeds door. Researchonderwerpen zijn:
 - koppeling van de Chemie aan advectie-dispersie programmatuur;
 - inverse programmatuur voor parameterfitting;
 - ontwikkeling van stochastische programmatuur.

5. STELLINGEN EN DISCUSSIES

De stellingen zijn opgesteld door de voorbereidingsgroep van de studiebijeenkomst. Per thema volgen nu eerst de stellingen met een samenvatting van de gevoerde discussies.

5.1. Formuleringsprobleem

1. De uit de doelstelling afgeleide taakstelling op het beleidsterrein van de hygiëne van grondwater en bodem is nog onvoldoende geformuleerd. Daardoor is het onderzoek nog onvoldoende afgestemd op beleidsvragen.
2. Onderzoek en beleid zou in de formulering van hun probleem duidelijk moeten aangeven aan welke eisen, qua betrouwbaarheid, de antwoorden op hun vraag zullen moeten voldoen teneinde het proces van modelbouw en -toepassing op efficiënte wijze te laten verlopen. Bij de formulering kan een aanpak m.b.v. hydrologische uniforme deelsystemen op verschillende schalen een zinvol hulpmiddel zijn.
3. Het schijnbare gebrek aan behoefte aan modellen vanuit het milieubeheer vloeit voort uit het formuleringsprobleem.

DISCUSSIE

De doelstelling van het bodembeschermingsbeleid is het handhaven van een zodanige kwaliteit van de bodem (inclusief grondwater) dat deze alle potentiële functies van de bodem kan blijven vervullen.

Momenteel is er relatief veel aandacht voor puntbronnen en minder voor diffuse bronnen.

Najaar 1983 komt naar verwachting het eerste Indicatieve Meerjaren Programma Bodem uit. Hierin zullen de uitgangspunten en doelstellingen van het kwalitatieve bodembeleid nader worden uiteengezet en zullen prioriteiten voor beleidsuitvoering worden aangegeven.

Normen vormen, waar mogelijk, een van de beleidsinstrumenten die gehanteerd zullen worden.

Het begrip hygiëne in de eerste stelling wordt te beperkt gevonden. Het gaat echter niet alleen om drinkwater, maar ook om wijzigingen in grondwaterstromingsstelsels die invloed kunnen hebben op planten, dieren e.d. (ecosystemen).

Modellen zijn slechts een hulpmiddel t.b.v. beleid, hiervoor zijn ze niet altijd betrouwbaar. Voor een eerste oriëntering kunnen ze echter goed bruikbaar zijn.

Toepassing is mogelijk in geval van hydrologische uniforme deelsystemen (bijvoorbeeld de hoge zandgronden) met een specifieke problematiek. Voorafgaand aan het "rekenen" dient eerst een systeemanalyse uitgevoerd te worden.

In alle fasen van het proces van formulering tot oplossing/toepassing is een grote samenspraak tussen onderzoekers en toepassers/beleid gewenst. De doelstelling alsmede de randvoorwaarden zoals geld, mankracht e.d. leiden tot de keuze van het hulpmiddel/de aanpak.

5.2. Communicatieprobleem

1. Bevordering van contacten tussen programma ontwikkelaars onderling en met modelgebruikers moet verbeterd worden.
2. Modelgebruikers en gegevens-verstrekkers dienen elkaar kritischer te benaderen dan tot nu toe gebruikelijk is.

Dit geldt in het bijzonder bij het gebruik van grondwaterkwaliteitsmodellen omdat:

- de erbij betrokken vakspecialismen ver uiteen liggen (bv. numerieke wiskunde en geochemie);
- er nog weinig praktische ervaring is opgedaan met grondwaterkwaliteitsmodellen.

3. Onvoldoende aandacht wordt geschonken aan het gebruikers-vriendelijk maken van de ontwikkelde programma's.

Om te zorgen voor een goede gebruikersgerichte documentatie moet minimaal zijn opgenomen:

- een globale omschrijving (met onder meer mogelijkheden en beperkingen van het programma);
- een omschrijving van de beschikbaarheid;
- een handleiding voor het gebruik.

Het bovenstaande is in eerste instantie een taak van de organisaties waarbinnen de computerprogramma's worden ontwikkeld.

4. Programmaontwikkelaars dienen meer aandacht te besteden aan de flexibele opbouw van de programma's met name aan de in- en uitvoeronderdelen ervan. Deze dienen zodanig te zijn, dat de gebruiker een minimale hoeveelheid tijd hoeft te steken in het gebruiksklaarmaken van zijn gegevens en het presenteren van de resultaten.

DISCUSSIE

Men is het erover eens dat de contacten tussen bouwer en gebruiker verbeterd dienen te worden. Of nu alle modellen goed gedocumenteerd moeten worden is twijfelachtig. Sommige gecompliceerde modellen zijn slechts voor enkele gebruikers zinvol.

De modellen die bedoeld zijn voor gebruik in brede kring hebben natuurlijk wel een goede documentatie nodig. Bouwer en gebruiker dienen zoveel mogelijk in een team samen te werken.

Een computerprogramma is een raamwerk met vele mogelijkheden. Vaak is de onderzoeker bezig met de bouw van dit raamwerk en heeft er nog geen ervaring mee. Zodra ervaring aanwezig is en dus een betere beoordeling kan plaats vinden of het voldoet en er bovendien behoefte is aan dit computerprogramma is een bruikbare documentatie zinvol.

De vraag blijft of men met kant en klare programma's gaat werken of dat bouwer en gebruiker het gezamenlijk iedere keer weer in elkaar gaan zetten. Vaak verdient dit laatste de voorkeur. In de provincies bestaat toch behoefte aan goede overzichten van tabellen, grafieken en eenvoudige modellen, daar tijd, geld en mankracht ontbreken om zelf voor ieder specifiek geval een model op te zetten.

Wie organiseert echter dat van - landelijk gezien zinvolle - modellen de documentatie wordt verzorgd?

Vaak heeft de bouwer alweer een ander project onderhanden en komt niet aan documenteren toe.

5.3. Gegevens/meetnet/bemonsteringsprobleem

1. Verdere ontwikkeling van grondwaterkwaliteitsmodellen t.b.v. praktijktoepassingen is nauwelijks zinvol indien ook niet wordt begonnen met:
 - 1e. een methodologische onderbouw voor betere verzameling van veldgegevens;
 - 2e. het in werkelijkheid verzamelen van de benodigde gegevens.
2. Van de totale onderzoekskosten is ruwweg 90% (zie Inventarisatie Grondwaterkwaliteitsmodellen) nodig voor de gegevensverzameling. Dit grote aandeel maakt een investering in de gewenste methodologie voorafgaand aan de gegevensverzameling noodzakelijk.
3. Het opzetten van een geautomatiseerde databank voor fysische en fysisch-chemische bodemkarakteristieken is hierbij noodzakelijk. Vooral van de diepere ondergrond ontbreken de noodzakelijke gegevens in ontstellende mate, met als gevolg dat een adequate voorspelling niet mogelijk is.
4. Toepassing van complexe grondwaterkwaliteitsmodellen leidt tot sterke uitbreiding van de noodzakelijk te verzamelen veldgegevens om zinvol praktisch gericht onderzoek mogelijk te maken.
5. Meer aandacht dient te worden besteed aan de verificatie van modellen aan de hand van veld- en laboratoriumgegevens. Programma ontwikkelaars zullen voor een goede toepasbaarheid, instrumenten moeten ontwikkelen voor de bepaling van de relatie tussen de betrouwbaarheid van invoergegevens en de betrouwbaarheid van modelresultaten.

DISCUSSIE

Het ontbreekt nog vaak aan een methodologische aanpak voor de verzameling van veldgegevens.

Hierbij wordt gebruik van kennis over geologische processen en patronen nogal eens over het hoofd gezien.

Gevaar is dat er telkens weer gemeten gaat worden; belangrijk is, wat en waar gemeten wordt.

Metingen zijn echter kostbaar en daarvoor ontbreken de financiën vaak, bovendien zijn er voor grondwaterkwaliteitsmodellen zeer vele metingen nodig.

De vraag is of er ook niet meer aandacht aan de processen besteed dient te worden daar die soms nog niet in voldoende mate bekend zijn.

Ook zou een systematische analyse van wat er is aan bestaande gegevens zijn vruchten af kunnen werpen.

Modellen geven een aanwijzing welke gegevensverzameling noodzakelijk is. Het is de vraag of alle gegevens in geautomatiseerde databanken opgeslagen dienen te worden. Ook bij kartering kunnen fysische en fysisch-chemische gegevens opgenomen worden. Vaak is echter de kartering op een zodanige schaal dat gebruik voor locale situaties niet mogelijk is. In dit licht gezien is een databank zinvol. Er wordt ook voor gepleit om de vele laboratoriumgegevens die op rekenmachines verwerkt worden en nu nog vaak niet worden opgeslagen, toch te verzamelen en op magneetband te zetten. Er wordt gesteld dat van de diepere ondergrond de gegevens ontbreken. Dit wordt niet door een ieder onderschreven: er is namelijk met de bestaande gegevens en met behulp van geofysische meetmethoden meer mogelijk, dan nu het geval is. Anderzijds wordt gesteld dat dit wel geldt voor het onderkennen van structuren, doch zeker niet voor de detailinformatie, noodzakelijk bij toepassing van locale modellen.

Het gebruik van modellen en het meten is een iteratief proces, dus niet in het wilde weg meten, maar meetprojecten naar modelbehoeften. Het ontbreekt op het gebied van het grondwater aan instrumenten voor het vaststellen van de betrouwbaarheid van invoergegevens en van de resultaten. Toch wil men weten hoe betrouwbaar de resultaten zijn bij weinig invoergegevens.

5.4. Opleidingsprobleem

1. Een kritische benadering tussen modelbouwers en verstrekkers van specifieke veld- en algemene gegevens is slechts mogelijk indien zij meer van elkaars vakgebied afweten. De basis hiervoor dient reeds tijdens de opleiding te worden gelegd.
2. Cursussen in het toepassen van computerprogramma's zijn noodzakelijk om gebruikers vertrouwd te maken met het modelgebruik. Het geven van cursussen die gericht zijn op de mogelijkheden en het gebruik van een bepaald model, zijn in de eerste plaats een taak voor de beherende instanties. Voor meer algemene opleiding en vorming gericht op het verstandig toepassen van modellen ligt primair een taak voor de onderwijsinstellingen.
3. In het HBO-onderwijs dient meer aandacht te worden besteed aan samenhangende evenwichtige kennis t.a.v. modellen, kwaliteitsaspecten en hydrologie.
4. Het post-academiale onderwijs kan een belangrijke rol vervullen op het gebied van waterkwaliteitsproblematiek.

DISCUSSIE

De vraag is of in het onderwijs wel veel meer aandacht aan de modelbouw gegeven moet worden omdat slechts een beperkte groep hiermee gaat werken en dit kan leren tijdens speciale cursussen. Ook wordt bij de studenten te weinig aandacht besteed aan veldwerk. Het één komt in de plaats van het ander.

Onderkend wordt dat veldwerk onmisbaar is.

5.5. Toepasbaarheidsprobleem

1. Grondwaterkwaliteitsmodellen zijn een goed hulpmiddel voor het meer inzichtelijk maken van kwaliteit bepalende processen en de effecten daarvan op elkaar. Als zodanig zijn deze modellen goed bruikbaar voor wetenschappelijk onderzoek en onderwijs.
2. Grondwaterkwaliteitsmodellen zijn een geschikt hulpmiddel voor het onderling afwegen van de effecten van verschillende denkbare saneringsmaatregelen bij gevallen van bodemverontreiniging. In die zin zijn deze modellen bruikbaar bij saneringsonderzoek. Absolute interpretaties zijn echter uiterst onbetrouwbaar.
3. Grondwaterkwantiteitsmodellen (t.b.v. genereren van stroomlijnen) zijn nuttige hulpmiddelen voor de opsporing van vervuilingsbronnen en het ontwerpen van saneringsmaatregelen zoals talrijke voorbeelden bewijzen. Stimulering van het gebruik van micro-computers kan deze ontwikkeling verder bevorderen.
Berekende verblijftijden zijn evenwel aanzienlijk minder betrouwbaar dan de stroomlijnen.
4. Grondwaterkwaliteitsmodellen blijken in de praktijk slecht bruikbaar voor het doen van voorspellingen over het transport van verontreinigingen in de bodem in absolute zin.

Ondanks hun complexiteit beschrijven ze toch op onvolledige en sterk vereenvoudigde wijze de in de bodem optredende processen.

Een praktijktoepassing waarbij een redelijke betrouwbaarheid van modelresultaten wordt verlangd, vergt een hoeveelheid gegevens, die vrijwel steeds ontbreekt. Redelijke betrouwbare voorspellingen omtrent de verspreiding van niet-conservatieve verontreinigingen in de bodem blijken daardoor vooralsnog niet mogelijk.

Gebruik van complexe grondwaterkwaliteitsmodellen bij onvoldoende gegevens suggereert een bedrieglijke betrouwbaarheid.

DISCUSSIE

Stelling 1 wordt door een ieder onderschreven.

In stelling 2 wordt saneringsonderzoek vervangen door onderzoek van verontreinigingsbronnen. Men verschilt van mening over de mate van onbetrouwbaarheid van absolute interpretaties.

Er is discussie over het verschil in betrouwbaarheid van berekende verblijftijden en stroomlijnen. In de praktijk blijken de stroomlijnen vaak beter te bepalen dan de verblijftijden. Laatste regel stelling 3 wordt "Berekende verblijftijden op basis van stroomlijnen zijn niet altijd betrouwbaar".

In stelling 4 wordt met absolute zin bedoeld qua tijd enz.

Iedereen onderschreef deze stelling, ook de modelbouwers.

Met complexe modellen wordt bedoeld: uitgebreide, geavanceerde modellen.

5.6. Onderzoeksbeleid

1. Grondwaterkwaliteitsmodellen vormen slechts één van de vele mogelijke hulpmiddelen, die al naar gelang het op te lossen probleem, wel of niet dienen te worden toegepast.
2. Het onderzoekbeleid dient erop gericht te zijn, dat theoretische resultaten voortdurend getoetst worden aan de praktijkproblemen op zowel lokale, subregionale als regionale schaal.
3. Het onderzoekbeleid dient mede geënt te zijn op de behoefte voor het opstellen van provinciale plannen in het kader van kwalitatief en kwantitatief grondwaterbeheer. Het beleid tendeert in een richting van een grotere aandacht voor diffuse verontreinigingsbronnen, waardoor uitgebreider en ingewikkelder onderzoek noodzakelijk wordt.
4. Kwetsbaarheidskaarten m.b.t. vervuiling kunnen misleidend zijn en/of misbruikt worden. Bij toepassing is gebruik van een adequate handleiding noodzakelijk.

DISCUSSIE

Met de modellen wordt hier bedoeld de numerieke modellen. Het onderzoekbeleid, dient erop gericht te zijn om problemen op te lossen en ook te voorkomen!

Het in 3 genoemde probleem-analyserende onderzoek behoeft zelf niet ingewikkelder te zijn, wel het vinden van maatschappelijk aanvaardbare oplossingen. Er gaan verder stemmen op om "kwalitatief en kwantitatief grondwaterbeheer" te vervangen door: "bodembescherming en grondwaterbeheer".

Absolute preventie is veel moeilijker bij diffuse bronnen dan bij vuilstorten.

5.7. Organisatorische problemen

1. De ontwikkelingen vragen om een gecoördineerd actief beleid op het gebied van grondwaterkwaliteit, dat gericht zal moeten zijn op:
 - het gebruiken van de beschikbare theoretische kennis;
 - het regelmatig inventariseren van beschikbare computerprogramma's;
 - het regelmatig inventariseren van de toepassingen van modellen;
 - het bevorderen van contacten tussen onderzoekers en praktijk;
 - het bevorderen van de beschikbaarheid van kennis en ervaring met betrekking tot grondwaterkwaliteit.

2. De wetenschappelijke kennis is thans in Nederland verspreid over vele onderzoeksinstellingen die in meer of minder mate geliëerd zijn met verschillende beleidsinstellingen. Coördinatie en uitwisseling van kennis en ervaring vindt op onvoldoend gestructureerde wijze plaats. (IGWMC-DGV-TNO, SAMWAT, RID, ICW, WL en CHO-groepen)

3. Uit reeds plaatsvindende activiteiten blijkt in Nederland een behoefte aanwezig aan:
 - het organiseren van bijeenkomsten (workshops, studiedag) bv. gericht op een bepaald grondwaterverontreinigingsproces, dat belicht wordt vanuit het fundamentele onderzoek en aan de hand van een praktijk-situatie;
 - presentatie van beschikbare programmatuur t.b.v. grondwaterkwaliteitsproblemen (ook buitenlandse);
 - een jaarlijks overzicht van Nederlandse publikaties op het gebied van waterkwaliteit en waterkwaliteitsmodellen;
 - een studiegroep Waterkwaliteit, belast met het stimuleren van bovengenoemde activiteiten. Het terrein zou, ten aanzien van bijeenkomsten, voorlopig beperkt kunnen worden tot grondwaterkwaliteit.

4. Er is t.b.v. instanties met (grond-)waterkwaliteitsproblemen een permanent onafhankelijke 'mogelijkheid' nodig met als doelstellingen:
 1. verhelderingsfunctie (tijdens probleemaafbakening);
 2. voorlichtings-/verwijzingsfunctie;
 3. klankbordfunctie.

5. Gelet op de samenhang kwalitatieve en kwantitatieve aspecten, lijkt een plaatsbepaling noodzakelijk wat betreft centrale actieve coördinerende functies van respectievelijk CHO-TNO en andere organen zoals RMNO.

DISCUSSIE

De ingewikkelde modellen zijn nog niet geschikt voor toepassing in de praktijk wel zijn er simpele modellen te gebruiken. Het ICW heeft net zoals bij de publikaties een attenderingsbulletin van programma's geschikt voor zak-computers. Een mogelijkheid is ook het verstrekken van gegevens over eenvoudige methoden via een kaartsysteem.

Bij veldonderzoek door vele instanties, dient er een betere "pooling" plaats te vinden. Het ontbreekt nog in voldoende mate aan een methodologische aanpak. De ontwikkelingen vragen om een gecoördineerd beleid, ruimer dan alleen grondwaterkwaliteit.

Bij stelling 2 zijn slechts als voorbeeld een aantal groepen genoemd, er zijn er vele meer.

Er vindt uitwisseling plaats van kennis en ervaring. Ook zijn er banden tussen de verschillende instellingen zoals CHO en SAMWAT.

Verder wordt er bij het oprichten van een onderdeel van het IGWMC bij DGV-TNO wel degelijk rekening gehouden met de diverse bestaande groepen en instellingen. Hoe is echter niet duidelijk.

Welke contacten zijn nodig?

De contacten tussen de onderzoekers lijken wel goed. Het ontbreekt meestal aan contacten tussen beleidsmensen en onderzoekers.

Hier liggen de volgende mogelijkheden:

- a. Voor de contacten tussen onderzoekers kan b.v. gedacht worden aan een contactgroep bij de CHO en/of aan studie- c.q. technische bijeenkomst.
- b. Wat betreft contacten tussen onderzoek- en beleidsmensen plus onderwijs kan gedacht worden aan een structuur zoals bij de NRLO/RMNO.

Het genoemde in a. behoeft geen probleem te geven. Het contact onder b. is veel moeilijker, namelijk samenwerking, afstemming van instituten.

Als er een contactgroep of studiegroep opgericht wordt, (zie a.) dient deze dan actief te zijn op grondwaterkwaliteitsgebied of meer op waterkwaliteitsgebied?

Voor een meer algemene groep pleit de samenhang zoals die zich in de natuur voordoet. Alles direct in één groep aan te pakken is echter te veel. Men dient grondwaterkwaliteit centraal te stellen en de randgebieden erbij te betrekken. Ook dient buiten de studiegroep grondwaterkwaliteit een groep actief te zijn die zich bezig houdt met organisatie van het onderzoek.

Voordat groepen opgericht worden moet er een goed inzicht bestaan en de samenhang van bestaande groepen bekend zijn. Bovendien zeer goed afstemmen op andere groepen bij NRLO en RMNO.

Een mogelijkheid is ook een onafhankelijk instituut dat genoemde zaken behartigt, of dient elk instituut dit in z'n beleid op te nemen? Gedacht wordt aan een studiegroep grondwaterkwaliteit die studiedagen organiseert.

Gevaar bij het ontbreken van een onafhankelijke "mogelijkheid" is, dat men met het model thuis komt van de instelling waar men op bezoek is.

Bij stelling 5 wordt naast de RMNO ook de NRLO opgenomen.

Bij de CHO vindt een bij elkaar brengen van onderzoekers plaats.

Bij de RMNO en NRLO zijn dit ook andere niveaus.

Gepleit wordt wel voor het bij elkaar brengen van onderzoekers terwijl hierbij geen geldstromen een rol spelen.

De naam van zo'n groep zou kunnen zijn "Studiegroep grondwaterkwaliteitsmodellen in de praktijk".

6. CONCLUSIES

Hieronder zijn opgenomen de conclusies zoals die door de leden van de begeleidingscommissie Grondwaterkwaliteit zijn getrokken naar aanleiding van de studiebijeenkomst.

- De communicatie tussen onderzoek en beleid en tussen onderzoekers van diverse pluimage dient te worden bevorderd.
- Programmatuur voor complexe modellen (omvattende advectie + dispersie + chemie) is nog niet geschikt voor het doen van absolute uitspraken. De toepassing van deze programmatuur is momenteel nog maar beperkt mogelijk, zoals in geval van theoretische en/of vereenvoudigde situaties en voor vergelijkende studies. In het laatste geval dienen de invoergegevens wel van een gelijkwaardig niveau te zijn voor de te vergelijken objecten.
- De methodologie van de gegevensverzameling dient verbeterd te worden. Hierbij dient meer gebruik gemaakt te worden van bestaande kennis t.a.v. samenhangen tussen bodemkundige- en geologische structuren en hydrologische verschijnselen. Dit beperkt het aantal noodzakelijk te verzamelen gegevens. Bovendien moet de veelheid van de reeds aanwezige gegevens worden gerangschikt door zoekarchieven in te richten.
- Meer aandacht dient te worden geschonken aan eenvoudige modellen en wel t.a.v. registratie, documentatie en het beschikbaar stellen, waardoor een ruimer gebruik kan worden bevorderd.
- Er dient een contactgroep gevormd te worden op het terrein van grondwaterkwaliteit en de randgebieden. Deze groep dient via de activiteiten te bevorderen:
 - het uitwisselen van kennis;
 - het uitwisselen van informatie over lopend onderzoek.In deze contactgroep dienen zowel onderzoekers als voorbereiders en uitvoerders van beheer en beleid te zijn vertegenwoordigd.

PROGRAMMA

3^e CHO-studiebijeenkomst

"Grondwaterkwaliteit in relatie met onderzoek en beleid".

Dinsdag 15 maart 1983, in het IAC, Lawickse Allee 11 te Wageningen (zaal G+H)

- 09.00 Aanmelden (koffie)
- 09.30 Opening door Prof.dr.ir. J.C. van Dam, voorzitter CHO-TNO
- 09.35 Inleiding door Prof. dr. G.B. Engelen (dagleider)
- 09.40 Keuze en gebruik grondwater(kwaliteits)modellen, Ir. K. Kovar
- 10.00 Stand van zaken grondwaterkwaliteitsmodellen, Ir. L.J.M. Boumans
- 10.30 Koffie
- 11.00 Discussie aan de hand van stellingen (Discussieleider: Ir. J.A. Los)
- 12.30 Lunch
- 13.30 Vervolg discussie
- 15.00 Thee
- 15.30 Samenvatting/belangrijkste conclusies, Prof. dr. G.B. Engelen
- 15.55 Sluiting door Prof.dr.ir. J.C. van Dam
- 16.00 Einde studiebijeenkomst

CHO-TNO
Postbus 297
2501 BD DEN HAAG
tel. 070 - 850198

DEELNEMERSLIJST

Studiebijeenkomst "Grondwaterkwaliteit in relatie met onderzoek en beleid"

1. Dr. C.A.J. Appelo - Vrije Universiteit, Instituut voor Aardwetenschappen, Postbus 7161, 1007 MC Amsterdam 020-5482452.
2. Ir. C.G.E.M. van Beek - Speurwerklaboratorium KIWA Groningerhaven 7, 3433 PE Nieuwegein Zuid 03402-60860.
3. Drs. W. Bleuten - Rijksuniversiteit van Utrecht, Geografisch Instituut, Postbus 80115, 3508 TC Utrecht 030-532749.
4. Ir. R.H. Boekelman - Technische Hogeschool Delft, Vakgroep Waterbeheersing, Postbus 5048, 2600 GA Delft 015-784901.
5. Dr. ir. J. Bouma - Stichting voor Bodemkartering, Postbus 98, 6700 AB Wageningen 08370-19100.
6. Ir.L. Boumans - Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Postbus 150, 2260 AD Leidschendam 070-694251.
7. Ir. H.J. Colenbrander - Secretariaatsbureau CHO-TNO Postbus 297, 2501 BD Den Haag 070-850198/814481.
8. Drs. W. van Dalfsen - Dienst Grondwaterverkenning TNO, Postbus 285, 2600 AG Delft 015-569330.
9. Prof. dr. ir. J.C. van Dam - Technische Hogeschool Delft Afdeling Civiele Techniek, Postbus 5048, 2600 GA Delft 015-781377.
10. Ir. W. van Duyvenbooden - Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Postbus 150, 2260 AD Leidschendam 070-694251.
11. Ir. Th. Edelman - Provincie Gelderland, Dienst Milieuhygiëne Marktstraat 1, 6811 CK Arnhem 085-592283.
12. Prof. dr. G.B. Engelen - Vrije Universiteit, Instituut voor Aardwetenschappen, Postbus 7161, 1007 MC Amsterdam 020-5482449.
13. Ir. B.H. Gilding - Waterloopkundig Laboratorium "De Voorst", Postbus 152, 8300 AD Emmeloord 05274-2922.
14. Ir. B.P. Hageman - Rijks Geologische Dienst, Postbus 157, 2000 AD Haarlem 023-319362.
15. Dr. ir. J. Hoeks - Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding Postbus 35, 6700 AA Wageningen 08370-19100.
16. Ing. J.C. Hooghart - Secretariaatsbureau CHO-TNO Postbus 297, 2501 BD Den Haag 070-850198/814481

17. Ir. M.G. Keizer
 - Landbouw Hogeschool, Vakgroep Bodemkunde en Bemestingsleer, De Dreyen 3, 6703 BC Wageningen, 08370-83302.
18. Ir. W. Kooper
 - DHV, Raadgevend Ingenieursbureau BV, Postbus 85, 3800 AB Amersfoort, 033-689111.
19. Ir. K. Kovar
 - Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Postbus 150, 2260 AD Leidschendam, 070-694251.
20. Dr. M. Leistra
 - Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen Marijkeweg 22, 6709 PE Wageningen, 08370-11821/11752.
21. Dr. ir. J.P.G. Loch
 - Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Postbus 150, 2260 AD Leidschendam, 070-694251.
22. Ir. J.A. Los
 - Provinciale Waterstaat van Drenthe, Postbus 122, 9400 AC Assen, 05920-55544.
23. Dr. ir. M. Loxham
 - Laboratorium voor Grondmechanica, Postbus 69, 2600 AB Delft, 015-569223.
24. Ir. E.J. te Luggenhorst
 - Provinciale Waterstaat in Overijssel, Postbus 73, 8000 AB Zwolle, 038-977177.
25. Ir. D. Pette
 - Heidemij Adviesbureau, Lovinklaan 1, 6821 HX Arnhem, 085-778911.
26. Ir. H. Prak
 - Landinrichtingsdienst, Postbus 20021, 3502 LA Utrecht, 030-852634.
27. Dr. ir. P.A.C. Raats
 - Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Postbus 30003, 9750 RA Haren 050-346541.
28. Dr. W.H. van Riemsdijk
 - Landbouw Hogeschool, Vakgroep Bodemkunde en Bemestingsleer, De Dreyen 3, 6703 BC Wageningen, 08370-83300.
29. Ir. F. Rutgers
 - Hoofddirectie van de Waterstaat, Postbus 20906, 2500 EX Den Haag, 070-264011.
30. Dr. A.J.M. Schoot-Uiterkamp
 - Bureau Milieuprojecten TNO, Postbus 217, 2600 AE Delft, 015-569330.
31. Ir. M.J.H. Smale
 - Grontmij n.v., afdeling Geotechniek, Postbus 203, 3730 AE De Bilt, 030-767911.
32. Ir. J.H.A.M. Steenvoorden
 - Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Postbus 35, 6700 AA Wageningen, 08370-19100.
33. Drs. J.W. Stellingwerf
 - Provinciale Waterstaat van Zuid Holland, Koningskade 1-2, 2596 AA Den Haag 070-264111.

34. Ing. J.G. Streefkerk - Staatsbosbeheer,
Postbus 20020, 3502 LA Utrecht,
030-852433.
35. Ir. M. Tamminga - Provinciale Waterstaat van Drenthe,
Postbus 122, 9400 AC Assen,
05920-55544.
36. Dr. W.A. Thissen - Rijkswaterstaat, Dienst
Informatieverwerking,
Postbus 5809. 2280 HV Rijswijk.
070-906628.
37. Prof. ir. J.M. Verstraten - Universiteit van Amsterdam, Fysisch,
Geografisch en Bodemkundig Laboratorium,
Dapperstraat 115, 1093 BS Amsterdam,
020-923030.
38. Drs. W.J. Willems - Ministerie VROM, hoofdafdeling Bodem,
Postbus 450, 2260 MB Leidschendam,
070-209367.
39. Drs. G. van Wirdum - Rijksinstituut voor Natuurbeheer,
Postbus 46, 3956 ZR Leersum,
03434-2941.
40. Drs. M. Witmer - Rijksuniversiteit van Utrecht,
Werkgroep Milieukunde,
Princetonplein 5, 3508 TA Utrecht,
030-532359.

1. Tweede Rapport en aanbevelingen
van de Contactgroep Archivering en Automatische verwerking
van hydrologische gegevens TNO.
Januari 1977.
2. Verslag en aanbevelingen
van de ad hoc groep Grondwatermodellen en Computerprogrammatuur TNO.
Juli 1978.
3. De droogte in 1976.
Een samenvatting en overzicht van de over de droogte van 1976
verschenen literatuur - (P.K.M. v.d. Heijde).
Augustus 1978.
4. Nederlandse activiteiten in internationaal hydrologisch verband.
Lezingserie, gehouden op 25 april 1978 te Delft, aangevuld met
(schematische) overzichten van internationale organisaties en
een overzicht van hun vertegenwoordigers in Nederland.
Augustus 1978.
5. Waterkwaliteit in grondwaterstromingsstelsels.
Een verslag van de Workshop op 1 en 2 april 1980 te Wageningen -
(J.C. Hooghart), aangevuld met discussiebijdragen en een
inventarisatie van het onderzoek in Nederland.
Augustus 1980.
6. Derde Rapport en aanbevelingen
van de Contactgroep Archivering en Automatische verwerking
van hydrologische gegevens TNO.
Februari 1981.
7. Overzicht van de wensen van hydrologen en waterbeheerders ten aan-
zien van het operationele regenwaarnemingennet van het KNMI -
J.C. Hooghart.
Oktober 1981.
- 8a. Verklarende Hydrologische Woordenlijst.
I. Water in de onverzadigde zone
II. Water in de verzadigde zone
van de Gespreksgroep Hydrologische Terminologie
Januari 1982.
9. Waterkwaliteit en waterkwantiteit in het IJsselmeergebied.
Een verslag van de 2e CHO-studiebijeenkomst op 2 en 3 november 1981,
De Eemhof, Zuidelijk Flevoland - (J.C. Hooghart), aangevuld
met discussiebijdragen.
Februari 1982.
10. Rapport en aanbevelingen
van de Contactgroep Grondwatermodellen, CHO-TNO.
April 1982.
11. Inventarisatie Grondwaterkwaliteitsmodellen.
L.J.M. Boumans
Oktober 1982
12. Grondwaterkwaliteit in relatie met onderzoek en beleid.
Een verslag van de 3e CHO-studiebijeenkomst op 15 maart 1983 te Wageningen -
(J.C. Hooghart), aangevuld met discussiebijdragen.
Juni 1983.