

NN31545.0681

681<sup>I</sup>

28 juni 1972

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding  
Wageningen

**BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW**

**BIBLIOTHEEK DE HAAFF**  
Droevendaalsesteeg 3a  
Postbus 241  
6700 AE Wageningen

GEDACHTEN NAAR AANLEIDING VAN DE  
ENQUÊTE HYDROLOGISCH ONDERZOEK 1970

ir. W.C. Visser

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

12 FEB. 1998



CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS

0000 0672 8014

1788693

## I N H O U D

	blz.
DE ALGEMENE OPVATTING, DIE AAN DE ENQUÊTE TEN GRONDSLAG LIJKT TE LIGGEN	1
WAAROP BASEERT ZICH DE VOORTGANG VAN HET ONDERZOEK?	2
DE BEPERKINGEN INHERENT AAN HET CETERIS PARIBUS ONDER- ZOEKSPRINCIPE	3
DEFINITIE VAN HET ONTWIKKELINGSDOEL VAN DE HYDROLOGIE	5
DE PRINCIPIELE ONVOLLEDIGHEID VAN HET FUNDAMENTELE ONDERZOEK	6
DE HYDROLOGISCHE GEBIEDSBESCHRIJVING	7
DE ONTWIKKELING TOT MULTIDICIELINAIR ONDERZOEK	8
DE WEERGAVE VAN DE WET TOT BEHOUD VAN DE MATERIE	9
DE OPLOSSING VAN VRAAGSTUKKEN UIT VERSCHILLENDE DICIELINEN	10
DE AUTOMATISERING VAN DE WAARNEMINGEN	11
DE SCHOLING VAN DE TOEKOMST	14
SAMENVATTING	16

## DE ALGEMENE OPVATTING, DIE AAN DE ENQUÊTE TEN GRONDSLAG LIJKT TE LIGGEN

In de door TNO gehouden enquête naar de doelstelling van het hydrologisch onderzoek, de hydrologische scholing in Nederland en de omvang die beide in ons land zouden moeten hebben geeft de Hydrologische Commissie TNO een overzicht van verschillende facetten. Aangegeven wordt welke onderwerpen in ons land worden bestudeerd, hoeveel mankracht voor deze onderwerpen in ons land ter beschikking staat en zelfs over de geldbedragen, die met dit onderzoek gemoeid zijn, geeft men een indruk. Het overzicht geeft een beschouwing over het verleden en gaat diep in op het heden. Hierdoor gaat het hydrologisch onderzoek binnen Nederland en de scholingsfaciliteiten de lezer steeds duidelijker voor ogen staan.

Er wordt op gewezen, dat de algemene schaalvergroting van vele activiteiten van de samenleving een vergroting van de omvang van het onderzoek vergt. Dit is te meer van belang nu nieuwe aspecten van milieubeheer en oecologie onderwerpen op de voorgrond stellen, die kennis van nieuwe diciplinen voor de hydroloog nodig maken en nieuw en origineel speurwerk vragen.

In de enquête wordt de nadruk gelegd op beheersvraagstukken en de toepassing in projecten van de voorhanden kennis. Hieruit wordt afgeleid op welk doel het toekomstige onderzoek en onderricht zich zou moeten richten en welke mate van volledigheid men met deze doelstellingen van onderzoek en onderwijs zou moeten nastreven. Een dergelijk verband tussen praktische vraagstukken en de ontwikkeling van een wetenschap laat zich begrijpen wanneer men een dergelijke beschouwing opvat als een consequentie van een bepaald in de enquête verder niet genoemd inzicht in het ontwikkelen van een studie onderwerp. De toepassing, zo moet men uit de beschouwing in het enquêterapport besluiten, wordt geacht het onderzoek te bepalen. De eisen van de toepassing stellen vast welke vorm het onderzoek moet aannemen en in welke richting het zich moet ontwikkelen. Aan deze onuitgesproken stelregel zal men afgeleide regels

kunnen ontlenen, die een zelfde mate van aanvaardbaarheid zullen hebben als de hoofdregel.

#### WAAROP BASEERT ZICH DE VOORTGANG VAN HET ONDERZOEK?

Of het wel de uitvoering is die de vordering van de wetenschap bepaalt en veroorzaakt laat zich het beste beoordelen door deze stelling te vergelijken met een alternatieve stelregel, die de tegenhanger is van de regel van de invloed van de uitvoering. De uitbreiding van de wetenschap kan men ook als een gevolg zien van het geheimzinnige proces van de toename van het inzicht van de samenwerkende onderzoekers. Een helder ogenblik van een enkele onderzoeker kan een ontwikkeling op gang brengen, die - soms na jaren van vergetelheid en na verder tot grotere bekendheid te zijn gekomen door onderzoek van anderen - aan de uitvoerende en toepassende instantie opvalt en door deze uitvoerende diensten wordt overgenomen en verder ontwikkeld.

Zo werden de erfelijkheidseigenschappen van de gewassen door Mendel opgemerkt en dan vele jaren vergeten. Wanneer dan jaren later de praktische betekenis van de erfelijkheidstheorie herkend wordt, wordt het verdere onderzoek onder invloed van de toepassingsmogelijkheid aangevat. Mendel gaf echter de stoot om van een kennisniveau nul tot een eerste formulering te komen. De toepassing had aan dit begin geen aandeel. Wel zal men de toepassing de eer moeten geven het eerste inzicht te hebben laten uitbouwen en de erfelijkheidsleer zijn grote omvang te hebben gegeven.

De eerste computer levert een ander voorbeeld. Reeds voor de eerste wereldoorlog werd dit instrument door Zuse gebouwd. Spoedig daarna herkende men in de Verenigde Staten de grote praktische waarde en werd in dat land de grote ontwikkeling van de rekenautomaat op gang gebracht. Maar zonder de vindingrijkheid van Zuse was het niet te verwachten geweest, dat dit instrument een zo diepgaande invloed op vele wetenschappen, in het bijzonder de hydrologie, zou hebben gekregen. Daartegenover staat dat zonder IBM het ontwikkelen van de computer niet achterwege zou zijn gebleven.

Ook binnen de hydrologie treft men gevallen aan waaruit blijkt of het onderzoek dan wel de uitvoering de drijfkracht voor de vooruitgang van de wetenschap leveren. De drainageformule van Hooghoudt werd ontwik-

keld in het kader van de wetenschappelijke activiteit ten behoeve van de Zuiderzeewerken. Voor het drainagewerk in deze polders werd wegens de rijpingsverschijnselen van de gronden deze theorie nooit gebruikt. Toch is de Hooghoudt oplossing, al heeft hij 15 jaar ongebruikt in de la gelegen, nog steeds een moderne nauwelijks verbeterde oplossing. Hooghoudt schiep hier een ontwikkeling van de hydrologische kennis. De Zuiderzeewerken, die de oplossing niet konden gebruiken, kan men moeilijk als de drijvende kracht achter deze ontwikkeling van de kennis beschouwen.

Men kan daarom de ontwikkeling van de wetenschap het beste bepaald en gericht achten door het gezamenlijk inzicht van de onderzoekers. Ongetwijfeld mag men daarbij de uitvoering een secundaire invloed op de groei van de kennis niet ontzeggen. Maar het krachtcentrum waar het uitgroeien van de inzichten wordt bepaald moet men in de onderzoekersgroep zoeken.

Hiermede wordt ter bepaling van de scholingsrichting voor de toekomstige uitvoering en het onderzoek alsmede het daartoe nodige onderwijs de vraag wat de onderzoekers beweegt en de ontwikkeling van hun inzicht leidt van meer belang dan maatschappelijke ontwikkelingen als schaalvergroting van het probleem en de huidige organisatie van beheer en uitvoering. De reacties van de onderzoekersgroep kan de verklaring geven voor waargenomen ontwikkelingen en kan de grondgedachten verschaffen voor een onderzoeks- en onderwijsbeleid in de toekomst.

#### DE BEPERKINGEN INHERENT AAN HET CETERIS PARIBUS ONDERZOEKSPRINCIPE

Tussen het fundamentele en het toepassende onderzoek lijkt in het algemeen een tegenstelling van inzichten en onderzoeksfilosofiën te bestaan. Het toepassende onderzoek lijkt velen te oppervlakkig, het fundamentele te wetenschappelijk waarmede men veelal bedoelt te eenzijdig op een bepaald aspect gericht, te grote verschillen in de behandelingsintensiteit van verschillende aspecten van het project.

Men vraagt zich nu af wat de onderzoeker tot deze eenzijdigheid drijft, waarom de toepasser beschikbare oplossingen soms vele jaren niet gebruikt en hoe de onderzoeker en de toepasser op elkaars zienswijze en beschouwingen ten aanzien van de beste oplossing reageren. Wanneer men op deze vragen een antwoord zoekt, komt men tot de volgen-

de conclusie. De onderzoekers wordt bij hun opleiding geleerd slechts een enkele factor te variëren en alle andere factoren constant te houden. Bij praktische problemen blijkt de oplossing door vele factoren beheerst te worden, die alle variëren terwijl geen factor constant zal blijven. Het constant zijn van alle factoren op een na, het ceteris paribus principe, is een kunstmatige veronderstelling, die vreemd is aan uitvoering en onderzoek beide. Ook de onderzoeker streeft naar het kennen van de invloed van alle het resultaat van onderzoek beheersende factoren, evenals de uitvoering. Het principe is ook onnodig nu men mathematisch het oplossen van  $n$  vergelijkingen met  $n$  onbekenden volkomen beheerst. Het ceteris paribus principe is een wat verouderde richtlijn voor onderzoek. Het is van veel belang dat het onderzoek zich meer op het bewerken van veel vergelijkingen met evenveel onbekenden gaat richten en dat hier de opleiding zich vooral mee moet gaan bezig houden.

Het verdient alle aandacht dat onderzoek en uitvoering dezelfde ontwikkelingsrichting nastreven. De toepassing zowel als het fundamentele onderzoek richten zich op grond van eigen doelstellingen meer naar het panta rhei principe, waarbij alles verandert dan naar het ceteris paribus onderzoek. De toepassing doet dit uit noodzaak van het beheersen van alle deelprocessen voor het gehele probleem. Het onderzoek bestudeert alle deelhebbende processen uit belangstelling.

Het ceteris paribus principe heeft grote overtuigingskracht, omdat het duidelijk van invloed lijkt op de onderzoekskosten. Daartegenover is de invloed op de doeltreffendheid van een onderzoek moeilijker te beoordelen. Men ziet dan ook dat vele in de toepassing werkzame deskundigen zich tegen het te ingewikkeld maken van de oplossing verzetten. Men verdedigt daarmee een principe dat in eigen conceptie in het geheel niet thuis hoort.

Het eenvoudig en overzichtelijk houden van een probleem kan beter met tabellen, diagrammen en nomogrammen worden nagestreefd dan met weglaten van een deel van het probleem.

Wel is weglaten van delen van een probleem in het fundamentele onderzoek een gebruikelijke procedure. Zo houden de stromingsformules voor het grondwater vrijwel nooit goed rekening met de verdamping en berging als functie van de grondwaterdiepte. Dit weglaten van belangrijke factoren maakt het fundamentele onderzoek voor de uitvoering veelal zo onvolledig, dat wanneer men zich dit bewust wordt men zich

gaat afvragen of dit het project niet waardeloos kan maken. In het onderzoek ziet men dan ook steeds een streven zich van de zelf gewilde beperking van het fundamentele onderzoek te bevrijden.

Wat men ten behoeve van de uitvoerende instanties moet nastreven is het verschaffen van een oplossingstechniek, die zo min mogelijk de voortgang van de constructie van het ontwerp stagneert en de met het project te regelen processen niet moeilijker begrijpelijk maakt. Men beschikt hier over verschillende mogelijkheden. Men kan soms op gespecialiseerde onderzoeksinstellingen terugvallen als een waterloopkundig laboratorium of het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening.

Een andere mogelijkheid is, dat men zeer algemene computermodellen opstelt, die alle factoren met een mogelijke invloed omvatten. De modellen kan men gebruiken als black box, zonder de inhoud geheel te doorzien, mits men de uitkomst maar weet toe te passen. Hiermede wordt tegelijk de taak van het onderzoek omgrensd. Dit heeft ten doel de modellen op te stellen, te toetsen en de numerische moeilijkheden die zich bij gebruik voordoen op te sporen en op te lossen. Er bestaat een vergaande parallelliteit tussen de doelstellingen van onderzoek en uitvoering.

#### DEFINITIE VAN HET ONTWIKKELINGSDOEL VAN DE HYDROLOGIE

De vorm die de hydrologische wetenschap in de toekomst zal aannemen, zal het gevolg zijn van de ontwikkeling waarnaar uitvoering en onderzoek beide streven. Deze richting wordt bepaald door een streven naar steeds grotere compleetheid van het onderzoek in regionaal opzicht, in tijdsduur, in aantal verantwoorde disciplines en variabelen, alsmede het zich vrijmaken van technische en mathematische beperkingen en het opstellen van een zinvolle, veelal de economie maar even belangrijk de foutenberekening te hulp nemende toetsingsmethode.

Men komt zo tot een panta rhei type regionaal, veel oorzaken en veel effecten omvattend, multidisciplinair onderzoek met simultane, niet lineaire, onderling samenhangende, veelal niet exact integreerbare procesfuncties met een op nauwkeurigheidseisen gebaseerd schema van factorverwaarlozing, economische of foutenanalytische toetsing, met een waarnemingssysteem, dat aan de keuze van het aantal waarnemingsplaatsen, waarnemingsvariabelen en waarnemingsfrequenties door automa-

tisering zo min mogelijk beperkingen oplegt.

Men zal zich afvragen welke ontwikkeling in het heden reeds in de goede richting gaat en welke ontwikkelingen vermoedelijk minder uitzicht bieden op een succesvol resultaat. Met nadruk mag worden vastgesteld, dat het ceteris paribus onderzoeksprincipe voor het fundamentele onderzoek van belang blijft en voortgezet zal moeten worden. Het kan echter daarbij niet blijven en het veel-factoren onderzoek en onderzoek naar vele wiskundige en technische complicaties zal naast dit fundamentele onderzoek veel sterker gestimuleerd moeten worden en in scholingsprogramma's van onderwijsinstellingen dienen te worden opgenomen.

Het belangrijkste in de ontwikkeling van het onderzoek is, dat de modellen veel overwegingen in een rekensysteem vastleggen. Daarmede wordt een grondslag verschaft aan elk nieuw onderzoek waarbij veel vragen niet meer als geheel nieuw naar voren komen of zelfs maar enig overleg vragen. In het huidige onderzoek is elk onderzoeksproject te zeer een origineel nieuw probleem en wordt te weinig van de ervaring in het opzetten en uitvoeren van de onderzoekstechniek, overgehouden uit vorige onderzoeken, gebruik gemaakt.

#### DE PRINCIPIËLE ONVOLLEDIGHEID VAN HET FUNDAMENTELE ONDERZOEK

De richtlijnen van het ceteris paribus principe maken het onderzoek door het beperken van de studie tot een enkele factor bewust onvolledig. Dit beperkt de waarde van de bestaande kennis in gehele vakgebieden. Zo valt het op dat in de grondwaterstromingstheorie de formules geen rekening houden met de van de grondwaterdiepte afhankelijke berging en verdamping. Omdat de verdampingsverschillen de grondwaterstroming in belangrijke mate kunnen overtreffen moet men op deze gronden wel aannemen, dat deze formules alle onvolledig zijn en in hun bestaande vorm voor de praktische toepassing maar beperkt bruikbaar.

Hiernaast valt het op dat rivierafvoeronderzoek zich veelal beperkt tot het nauwkeurig analyseren van wat er in de beek te meten valt, terwijl het het drainageproces te velde, noch de verdamping of de berging met eenzelfde zorg beschrijft. De ervaring van de bodemfysici vindt men in het rekenmodel voor de afstromingshydrologie maar in beperkte mate verantwoord. De reden van deze onvolledigheid tengevolge van bewuste vereenvoudigingen en weglatingen is, dat de formules veelal afge-



leid worden door exacte integratie van een vereenvoudiging van de formules voor de bergings- en doorlatendheidsconstanten in de principeformule 2 op blz. 9 voor het behoud van de materie. De weinig elastische integratietechniek bij ingewikkelde uitgangsfuncties geeft veelal geen oplossing dan door vereenvoudiging. Veel meer zou men de numerische integraties van deze ingewikkelde functies moeten propageren. Hiervoor geeft de literatuur in het algemeen de toepassingsvoorschriften, die de uitvoerder direct zou kunnen gebruiken, nog niet.

#### DE HYDROLOGISCHE GEBIEDSBESCHRIJVING

Ten aanzien van de regionale uitgebreidheid van hydrologische processen beschikt men over drie vormen van onderzoek en wel allereerst de technieken die uit het karteringsonderzoek voortspruiten. Hiernaast staat de uit de wiskunde voortkomende elementenmethode. Als derde techniek wordt gebruik gemaakt van het hydrologisch of elektrisch analogon.

Het uit het karteringswerk voortkomende, hetzij als geohydrologie of paedohydrologie geformuleerde regionale hydrologische beschrijvingen, krijgt in de statistische bewerking van op kaarten weergeefbare eenheden in het werk van de Bundesanstalt für Bodenkunde in Hannover interessante stimulansen en verdient ook in ons land nadere aandacht. Het kwalitatieve accent dat in deze geo- en paedohydrologie aan de bodemkundige afkomst herinnert wijzigt zich door deze rekentechnieken tot een techniek van een meer kwantitatieve aard.

De elementenmethode, door De Ridder in Nederland geïntroduceerd, toont op het ogenblik nog onmiskenbaar zijn afkomst uit het fundamentele, maar onvolledige hydrologische onderzoek door de bodemfysische effecten als de invloed van verdamping, berging en de afvoer naar verschillende drainagebases tegelijk, maar in beperkt detail in het rekenmodel op te nemen. Het zal nuttig zijn en lijkt niet te moeilijk, deze aanvullingen in de elementenmethode op te nemen.

Het voordeel van het analogon als derde techniek is gelegen in de relatieve eenvoud om een nauwkeurige topografisch-geografische weergave van de hydrologie van een gebied te geven. Het bezwaarlijke is het geringe aanpassingsvermogen van een analogon aan veranderingen en variaties in de door de waterstanden beheerste procesconstanten,

die uit het analogon blijken. Deze kunnen niet eenvoudig in het model verwerkt worden, waar het om invloeden op berging, invloed op het niveau van de afvoerbases en op de verdamping gaat. De hybride modellen leveren hier wel nieuwe mogelijkheden. De combinatie met de computer maakt het ook mogelijk het analogon sneller in te stellen en aan te passen aan de beschikbare toetsingsgegevens. Deze deels op de regionale weergave deels op de procesweergave gebaseerde oplossingsstechniek zal voor het analogon zowel als voor de elementenmethode een veelbelovende verfijning en versnelling kunnen blijken te zijn.

Uit de wereldliteratuur krijgt men de indruk dat de analogiemodellen, ook bij uitbreiding tot de hybride modellen, in de omvang van gebruik over hun optimum heen zijn. De digitale modellen lijken geleidelijk de voorrang te krijgen. Zou dit juist zijn, dan zou men deze ontwikkeling kunnen stimuleren door het ter beschikking stellen tegen redelijke kosten van steeds grotere en snellere computers voor zowel de onderzoekers als de toepassers en het steeds meer aandringen op het in modelvorm afleveren van studieresultaten. Het met de computer uitvoeren van de aanpassing van het analogon aan de waarnemingen te velde stelt dezelfde eisen en kan van dezelfde ontwikkeling profiteren.

#### DE ONTWIKKELING TOT MULTIDICIPLINAIR ONDERZOEK

In steeds sterkere mate klinkt naast de roep om het hydrologisch onderzoek uit te breiden tot meer termen van de waterbalans, tot een versterking van de regionale aangepastheid en tot een betere weergave van de onderlinge afhankelijkheid van variabelen en parameters, de vraag op tot het incorporeren in het onderzoek van meer disciplines. Dit is weinig moeilijk wanneer de op te nemen disciplines ook in modelvorm zijn weergegeven. De ecologie van de wilde vegetatie zal wat de modelweergave betreft veel op de weergave van het model voor de landbouwecologie lijken en alleen in de parameterwaarden verschillen. Het contact tussen het hydrologisch en het ecologisch model zal lopen over de verdamping als maat voor de beschikbaarheid van vocht en over het luchtgehalte van de wortelzone als maat voor de aeratie. Ook de milieuhygiëne, die als nieuwe discipline sterk naar voren komt, kan in het model voor de waterhuishouding worden ingebouwd, wanneer het gaat om de ten dele van de waterhuishouding afhankelijke concentraties en verplaatsingen van de

vervuilende stoffen.

Het stuwbeheer van waterschappen als voorbeeld van een beheersdiscipline die in verband staat met de waterhuishouding kan door het model worden ondersteund. Men bereikt dit doel door de mate en het moment van waterafvoer en waterconservatie af te leiden uit het verhang en het peil van het water in de leidingen en de invloed daarvan op de drainage-afvoer. Het stuwbeheer en zijn economische betekenis voor landbouw, milieubeheer en drinkwaterwinning zullen in de toekomst afgeleid kunnen worden uit het waterbalansmodel.

#### DE WEERGAVE VAN DE WET TOT BEHOUD VAN DE MATERIE

Er zijn twee wijzen van weergave van de wet tot behoud van de materie en wel de waterbalansformule, die door de lysimeterhydrologen voornamelijk is gebruikt en die luidt:

$$N = A + E_w + \Delta B \quad (1)$$

N = neerslag

A = drainage afvoer

$E_w$  = werkelijke verdamping

$\Delta B$  = variatie in de berging

Deze formule legt de nadruk op waterhoeveelheden per eenheid van tijd, maar gaat wat oppervlakkig heen over de samenhang, die tussen stroming en berging bestaat.

De tweede weergave berust op de mathematische definitie van juist deze samenhang van stroming en berging en steunt op de continuïteitsformule

$$\frac{d}{ds} \left( kD \frac{d\psi}{ds} \right) = \mu \frac{d\psi}{dt} \quad (2)$$

s = stromingsweg

$\psi$  = potentiaal

kD = doorlatendheid van het doorstroomde profiel

$\mu$  = bergingsparameter

De formule, die als continuïteitsformule bekend staat, geeft aan dat de verandering in de vochtstroom opgevangen moet worden door een gelijke verandering in de berging.

Wanneer men voor de  $kD$ - en de  $\mu$ -waarde, als een functie van de omstandigheden als verzadigde of onverzadigde stroming, verzadigde of onverzadigde potentiaal en invloed van de diepte onder maaiveld, betrouwbare functies heeft gevonden en in de continuïteitsformule heeft ingevoegd, dan dient een exacte integratie van formule 2 plaats te vinden. Deze exacte integratie is echter alleen in de eenvoudigste gevallen mogelijk. Men staat dus voor de keus ofwel met vereenvoudigde bodemfysische beschrijvingen te werken waardoor men het met zo veel zorg gedefinieerde probleem niet oplost, dan wel naar numerische integratie te grijpen. Doet men dit laatste dan wordt het rekenwerk zo omvangrijk, dat andere grote berekeningen onuitvoerbaar worden en bijvoorbeeld aanpassing aan de werkelijkheid door vereffening niet meer mogelijk zal zijn.

De waterbalansvergelijking 1 is reeds onderwerp van veel onderzoek geweest en men mag aannemen, dat daarbij voor de verschillende balans termen reeds goede functies zijn gevonden. Men krijgt de indruk dat de waterbalansfunctie een beter uitgangspunt zal zijn voor toepassing en scholing dan de ongetwijfeld exactere continuïteitsvergelijking. Dit is omdat die vergelijking op ondoorzichtige wijze veranderd moet worden om een integratie toe te laten.

Men zou wensen dat de hydrologie zich ontwikkelde op grond van een zorgvuldig overleg omtrent het deel van de wiskundige techniek, dat men in de hydrologie als veelbelovend beschouwt en een deel, waarin nog vele moeilijkheden om een oplossing vragen. Zo'n laatste deel verkeert nog niet in een ontwikkelingsstadium, dat algemene toepassing of opname in een opleidingsprogramma gewenst maakt.

Een volgende doelstelling voor het toekomstige hydrologisch onderzoek handelt over de oplossing met behulp van een multidisciplinair model van vragen die tot verschillende vakgebieden behoren. Op deze wijze kan het effect van een ingreep in de hydrologie op het gevolg van naar hun aard zeer verschillende aspecten worden vastgesteld. Het hydrologisch onderzoek zal zijn berekening niet mogen laten eindigen bij de berekening van potentialen en debieten. Het zal ook een voorspelling

moeten kunnen geven omtrent gewasopbrengsten, ecologische effecten, beheersmaatregelen door de waterschappen te nemen, en waterwinnings-effecten.

Dergelijke veel-oorzaken en veel-gevolgen onderzoek is thans via de rekenautomaat mogelijk geworden. Het doorrekenen van modellen, het oplossen van vele onbekenden en het leren begrijpen van de numerische verrassingen, die het doorrekenen van een model met zich brengt, zal een onderdeel moeten worden van de opleiding van de hydroloog en de taak van vele hydrologische instituten. Vooral in de opleiding zou men menen dat meer aandacht gegeven zal moeten worden aan het behandelen van gecompliceerde, niet lineaire veel factoren problemen voor op de praktijk gerichte vraagstukken. Hierbij is een grotere nadruk op de wiskunde als nevendicipline van groot belang. Wellicht in wat mindere mate zal dit gelden voor de in het onderwijs reeds meer plaats toegewezen vakgebieden als bodemphysica als grondslag voor grondwaterstromingen en grondwaterchemie als grondslag van inzicht in vervuiling en zelfreiniging. Dat men verder een zekere kennis zal moeten hebben ten aanzien van de problemen, die op het grensvlak liggen van hydrologie enerzijds en anderzijds van landbouwkunde, waterwinning, bodemkunde en geologie, ecologie en milieubeheer is iets dat vanzelf spreekt. Deze kennis zal niet gedetailleerd behoeven te zijn. Men zal echter elkaars taal moeten kunnen verstaan en elkaars problemen moeten kunnen begrijpen. De hydroloog, maar ook de deskundigen uit andere diciplinen zullen voor de vragen van andere vakgebieden open moeten staan.

#### DE AUTOMATISERING VAN DE WAARNEMINGEN

Het verzamelen van waarnemingen op vele plaatsen en met verschillende frequenties zou kunnen betekenen, dat mensen van verschillende instituten gelijktijdig het veld in zouden moeten worden gezonden om zeer verschillende waarnemingen uit te voeren. Wanneer waarnemingen met een grotere frequentie worden uitgevoerd is het uitzenden van waarnemers vrijwel niet mogelijk en zal men moeten overgaan naar een systeem van geautomatiseerde waarnemingen. Het regionale meer-diciplinaire onderzoek zal waarnemingen op vele plaatsen en van vele eigenschappen vereisen, terwijl de frequentie van waarnemen zeer zal ver-

schillen. Zou men de waterbalans wegens de topafvoeren graag op een uursbasis willen kennen, terwijl voor de drinkwatervoorziening een interval van enkele weken al voldoende zou zijn, dan is een dergelijk variabel waarnemingsstelsel alleen door automatisering te verwezenlijken. Ontwikkelingen zijn op gang gebracht om allerlei hydrologische veldvariabelen om te zetten in een elektrisch signaal, waarmede via een cassette recorder, die voor een computer leesbare impulsen vastlegt, de gegevens geschikt worden gemaakt voor grafische of numerische bewerking. Bij dit registreren is het signaal van belang. Maar van meer belang is, dat het waarnemings- en het registratie-apparaat lange tijd storingsvrij functioneert. Bij het COLN-onderzoek bleek dat na 3 maanden van de 100 waterstandsbuizen er 6 gemiddeld niet meer functioneerden door dichtslibben, verloren gaan of vernieling. Het herstellen vergde een volle man per 3000 buizen. Bij een type zelfregistrerende waterstandsmeters bleek dat een veldassistent niet veel meer dan 20 apparaten kon onderhouden. Zelfregistrerende instrumenten vragen veel toezicht en de nadruk moet op storingsvrijheid worden gelegd.

Het zal een taak voor de hydrologische instituten zijn gezamenlijk de nodige waarnemingsmiddelen te ontwikkelen, die met een minimum aan storingsvrij op uniforme wijze signalen met zeer verschillende betekenis in een registratiestrook kunnen omzetten.

Het ideaal is, dat reeksen van gelijksoortige signalen, die echter zeer verschillende waarnemingen weergeven, alle door eenzelfde registratie-apparaat worden vastgelegd, ongeacht voor welk instituut de waarnemingen worden verricht. De waarnemingen kunnen aan verschillende disciplines ontleend zijn en met verschillende frequentie worden vastgelegd. Is het bekend met welke signaalsterkte het registratie-apparaat werkt, dan kan elk nieuw waarnemingsmiddel daarvoor worden geconstrueerd. Zeker zal men daarbij moeten overwegen elk instituut toegang te geven tot de waarnemingen, die op het waarnemingspunt reeds als routine-methode door anderen worden uitgevoerd.

Van deze veel variabelen registratie kent Engeland in de Weather Watschers reeds een uitgewerkt voorbeeld en is door Philips voor ons land de luchtverontreinigingsregistratie in constructie genomen. Dat in Nederland de waarnemingen van regen en verdamping, grondwaterdiepte en beekafvoer onafhankelijk van elkaar en op verschillende tijdstippen met verschillende frequenties worden waargenomen, zodat een nauw-

keurige gezamenlijke bewerking niet goed mogelijk is, levert een voorbeeld van het verlies aan doelmatigheid door gebrek aan een gezamenlijk plan en van de mogelijkheden, die interinstitutioneel overleg kan bieden.

In de hydrologie wordt deze institutionele samenwerking thans overwogen. Door het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut en het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening is het plan opgevat op de plaats waar de neerslag wordt gemeten ook de grondwaterdiepte vast te stellen. Samengewerkt zal daarbij worden met de Dienst Grondwaterverkenning en de Stichting Technisch Fysische Dienst voor de Landbouw. Deze samenwerking mag wel als bewijs gelden voor de betekenis en de wenselijkheid van een geïntegreerde samenwerking ter oplossing van geïntegreerde problemen. Het ligt voor de hand te verwachten, dat binnenkort verdere waarnemingen aan deze grondwater- en neerslagwaarnemingen zullen worden toegevoegd, als windsterkte, straling, panverdamping, beek- of drainbuisafvoer, enz. om tot een vollediger beschrijving van de hydrologische toestand te komen. Men ziet aankomen hoe in de toekomst veel vaker op een zelfde plaats eigenschappen van verschillende aard zullen worden vastgelegd als hydrologische, klimatologische en milieu-hygiënische factoren. Ten aanzien van de frequentie van waarnemingen zijn niet veel meer grenzen voor de frequentie van waarnemen aanwezig anders dan een angst voor zeer veel papier. Wel moet bij de samenwerkende diensten belangstelling voor elkaars werk aanwezig zijn en moet het mogelijk zijn van elkaars waarnemingen gebruik te maken wanneer dit bij overleg wenselijk en mogelijk is gebleken. Deze samenwerking zal men met nog meer nadruk moeten stimuleren.

Bij een doelstelling waarbij de verantwoordheid van het detail die tot het goede fundamentele onderzoek behoort gecombineerd moet worden met de breedheid en volledigheid, die het kenmerk is van het goede toepassende onderzoek is deze steun aan het eenzijdige fundamentele onderzoek niet meer in het belang van welvaart en welzijn.

#### DE SCHOLING VAN DE TOEKOMST

Het multidiciplinaire karakter van het toekomstige onderzoek zal van de onderzoekers binnen de diverse vakgebieden vergen in de met eigen werkterrein samenhangende vakgebieden een zeker inzicht en ten aanzien van het daar uitgevoerde onderzoek een zekere ervaring te hebben. Terwijl het thans zo is, dat de meest gemotiveerde studenten en afgestudeerden zich in een of ander specialisme bekwamen, zal het in de toekomst noodzakelijk zijn dat juist de meest bekwamen een veel meer algemene belangstelling wordt bijgebracht. Zowel voor onderzoek als voor uitvoering zal deze breedte in de kennis van de topmensen zowel ten aanzien van de praktische doelstelling als ten aanzien van de wetenschappelijke grondslagen en werkmethoden van het grootste belang zijn. Het is merkwaardig dat de samenleving in het huidige stadium van de ontwikkeling van de wetenschap nog steeds het specialistisch onderzoek met aanzien en salariëring stimuleert en het integrerende onderzoek en de toepassing daarvan naar de tweede plaats verwijst. Bij een doelstelling waarbij de verantwoordheid van het detail van het goede fundamentele onderzoek gecombineerd moet worden met de breedheid en volledigheid van het goede toepassende onderzoek is deze steun aan het eenzijdige onderzoek niet meer in het belang van welvaart en welzijn.

Het verkrijgen van kennis en ervaring op een breder terrein dan eigen vakgebied zal werken in een richting waarbij niet meer grondwaterstroming, bodemphysica, landbouwkunde enz. als afzonderlijke, streng gescheiden vakgebieden zullen voorkomen. Men zal bij de opleiding uitgaan van alle aspecten van het interdisciplinaire probleem in onderlinge samenhang, theoretisch zowel als ten aanzien van de onderzoekstechniek. Alle instituten zullen wat meer-diciplinair moeten worden. De in de hydrologie geïnteresseerde instituten zullen daardoor wat meer op elkaar gaan gelijken. Was de opleiding van de specialist tot dusverre beheerst door het zich oefenen in 'alles' van eigen vakgebied of 'niets' van de andere vakgebieden, in de toekomst zal het organisatie-ideaal



naar 'meer of minder' gaan overhellen en zal men minder van het aan eigen taak verwante onderzoek aan andere instituten kunnen en mogen overlaten.

In dit opzicht bestaat veelal een angst voor duplicatie. Vooral de financiële kant, het verspillen van geld, maar bij onderricht ook het bezwaar van verwarring bij niet-homogene scholing zet deze tegen multidiciplinaire ontwikkelingen gerichte gedachte kracht bij. Dat men, wanneer men door het niet goed verstaan van elkaars taal tot een minder goede samenwerking komt en eveneens geld en tijd verliest, is minder tastbaar en moeilijker in getalmaat uit te drukken. Men haalt het grotere bezwaar van een tekortkoming in het onderzoek binnen om aan een kleiner bezwaar van het eventueel maken van wat hogere kosten te ontkomen.

Het multidiciplinaire veel-factoren onderzoek is te gecompliceerd om het zonder de hulp van aan de wiskunde ontleende methoden te kunnen doen. Men zal bij de scholing meer aan wiskunde, ook omvattende de vereffeningswiskunde en de numerische behandeling van de technieken, moeten doen. Het valt op dat in de fysisch georiënteerde wetenschappen aan vereffening en foutenberekening zo weinig wordt gedaan vergeleken met minder exacte vakgebieden als landbouwkunde, dat men veelal meent dat deze wiskunde, die toch de theoretische grondslag van het onderzoek behelst, een overbodige bijkomstigheid is. Ook in de hydrologische scholing zal men meer aandacht moeten geven aan de mathematische grondslagen van het onderzoek en de toepassing.

Tenslotte zal het zeer gewenst zijn dat de scholing de nadruk legt op het werken met modellen en het opstellen daarvan op grond van vaste fysische wetten als het behoud van de materie, de diffusiewet of dergelijke onomstotelijk vaststaande relaties. Het zal duidelijk moeten blijken hoe vele wetenschappelijke resultaten eerst nog geschikt gemaakt moeten worden opdat wat voor gelijkblijvende nevenomstandigheden geldt ook toegepast kan worden voor omstandigheden, waarbij vele factoren variëren. Verder zal de student een duidelijk beeld van de wens tot volledigheid van een model moeten krijgen. Maar tevens zal hij moeten inzien waar de grenzen van deze wenselijkheid liggen en wanneer het extra werk gaat overwegen boven de betekenis van wat grotere compleetheid, wat grotere betrouwbaarheid en wat meer doelmatigheid. De bredere scholing zal ook moeten aangeven onder welke omstandigheden de compleetheid als noodzakelijk aandeel in het toepassende onderzoek zijn betekenis verliest.

## SAMENVATTING

De Hydrologische Commissie TNO hield in 1970 een enquête met betrekking tot het hydrologisch onderzoek en gaf een overzicht van wat de hydrologie ten behoeve van het onderricht en de uitvoering nastreefde. Verder gaf de enquête een indruk omtrent de wijze waarop de hydrologie in ons land georganiseerd is en kan men een indruk aan deze beschouwingen ontleen omtrent de vorm die het in de toekomst zou moeten krijgen. Zoals de enquête verduidelijkt, zal de hydrologie in ons land in de komende tijd een verdere verbreding en verdieping moeten doormaken, wil de toekomstige hydroloog zich een kennisniveau eigen kunnen maken dat de vergelijking met het kennisniveau in het buitenland kan doorstaan. Ook zal hij de hydrologische maatregelen moeten kunnen ontwerpen, die de nieuwe ontwikkelingen als drinkwaterwinning en milieubeheer van hem zullen eisen.

Allereerst van belang zal zijn een verandering in de scholings- en onderzoeksfilosofie te bewerken. Deze is thans nog te zeer gericht op specialisatie en de studie van veranderingen in een enkel facet bij constant houden van alle andere aspecten.

Omdat de uitvoering zowel als het wetenschappelijk onderzoek vooral op de compleetheid van de oplossing van een probleem aandringen waarbij het type van het ceterus paribus onderzoeksprincipe niet past, zal men het onderricht zowel als het onderzoek op een breder type van overweging en oplossen van vragen moeten richten, op het geïntegreerde onderzoekstype.

De kritiek, die men op onderzoek en scholing uit, heeft veelal als grondgedachte dat men onvoldoende aandacht geeft aan allerlei nevenfacetten. Dit geldt niet alleen voor nieuwe aspecten, die thans naar voren komen als milieubeheer en ecologische problemen. Ook de vanouds bekende facetten als de invloed van het project op de landbouw, het waterafvoerbeheer of de economie vragen meer en meer aandacht. De kritiek lijkt de strijd aan te binden met de onvolledigheid van ontwerpen en van onderzoeksresultaten. Er zijn thans wiskundige middelen beschikbaar om met computermodellen veel gecompliceerder vraagstukken op te lossen dan tot dusverre mogelijk was. Het zal van belang zijn, indien deze weg met nadruk door de hydrologie wordt ingeslagen. Dit zal een op de gehele samengesteldheid van het probleem gerichte onderzoeks

en ontwerp belangstelling vragen. Ook zal een aanzienlijke uitbreiding van de wiskundige definitie en behandeling van de overwogen regeling van een complexe waterhuishoudkundige situatie de toekomstige taak van het onderzoek worden.

Het verzamelen van de nodige waarnemingen zal bij een multidisciplinair onderzoek nadere aandacht vragen, opdat niet allerlei waarnemingen door verschillende instellingen worden verricht die door een van de instituten, dat daarop gespecialiseerd is beter kan worden uitgevoerd. Het lijkt gewenst een waarnemingssysteem te ontwikkelen waar in ieder instituut zijn eigen sensoren kan invoegen, en alle gegevens geregistreerd worden met de gewenste waarnemingsfrequentie en nauwkeurigheid. Daarbij zou elk instituut gebruik moeten kunnen maken van alle geregistreerde waarnemingen. De vrijheid van gebruik bij regenwaarnemingen, grondwaterdiepten en beekafvoeren, die in Nederland reeds bestaat, maar nog niet als samenvattend onderzoek op dezelfde plaats wordt uitgevoerd, heeft voor de hydrologie steeds een stimulans betekent en verdient verdere ontwikkeling.

Het zal van belang zijn, dat over deze verschillende vormen van hydrologisch onderzoek en samenwerking nader overleg op de hydrologische enquête volgt.