

Waterhuishouding vroeger, nu en in de toekomst

1. Inleiding

Onder de hierboven genoemde titel hield op 10 mei jl. prof. dr. ir. J. C. van Dam een voordracht in het kader van een informatieve dag georganiseerd door de Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland. De bedoeling van deze dag was het werk van de commissie een grotere bekendheid te geven, vooral bij diegenen die in Gelderland op enigerlei wijze met het waterbeheer te maken hebben. De voordracht van prof. Van Dam diende



IR. H. J. COLENBRANDER,
Provinciale Waterstaat van
Gelderland



DR. IR. Th. J. VAN DE NES
Provinciale Waterstaat van
Gelderland

hierbij als inleiding en plaatste tevens het onderzoek van de commissie tegen de achtergrond van de algemene ontwikkeling op waterhuishoudkundig gebied. Op de informatieve dag werd verder een voordracht gehouden door eerstgenoemde auteur over het onderzoek van de commissie en ter afsluiting een lezing door mr. J. J. van Soest over de bestuurlijke ontwikkelingen op het gebied van het waterbeheer in het buitenland. De inhoud van de beide eerstgenoemde voordrachten worden in dit artikel kort weergegeven, terwijl de lezing van mr. Van Soest inmiddels is verschenen in Waterschapsbelangen no. 14 van 11 juli 1973.

2. Ontwikkelingen op waterhuishoudkundig gebied

Hoewel het waarschijnlijk overbodig is nog een definitie van waterhuishouding te geven, zal toch worden aangegeven wat hieronder wordt verstaan: 'het geheel van onderzoekingen, technische werken en bestuurlijke maatregelen, dat nodig is om tot een zo doelmatig mogelijke verdeling en beheersing van het aanwezige water naar kwantiteit en kwaliteit te komen'. Eerst werd ingegaan op de ontwikkelingen die zich op waterhuishoudkundig gebied hebben voorgedaan, omdat deze veel verklaren van de problemen en moeilijkheden die zich thans op dit terrein voordoen. Prof. Van Dam maakte ten aanzien van de ontwikkelingen onderscheid tussen de volgende aspecten:

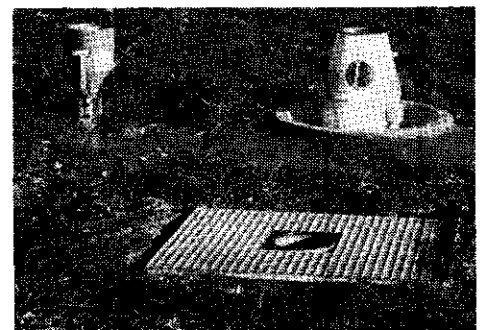
- de eigenlijke waterhuishoudkundige problemen;
- de onderzoeksmethoden;
- de berekeningsmethoden en de beleidsvoorbereiding.

De waterhuishoudkundige problemen lagen vroeger voornamelijk op het gebied van het beschermen van bevolking en land tegen overstromingen, alsmede van het scheppen van goede scheepvaartmogelijkheden. De studies concentreerden zich dus op de problemen van waterafvoer, dijkbouw, inpolderingen, kwel en klinkverschijnselen, etc. Thans zijn, naast genoemde aspecten, ook van groot belang de voorziening van bevolking, industrie, landbouw en recreatie van goed water. Hierbij valt de nadruk op het woord goed, omdat immers naast de kwantiteit, de waterkwaliteit van bijzonder veel belang is geworden. De studies van waterbehoeften, frequenties van droogteperiodes en de mogelijkheden van opslag van water in bovengrondse of ondergrondse reservoirs zijn thans van essentieel belang. Het is noodzakelijk geworden alle potentiële bronnen te onderzoeken. Daarbij verdienen ook minder conventionele bronnen de nodige aandacht, zoals de winning van zoet water uit zout en brak water. Tevens dient te worden nagegaan in welke mate hergebruik van water tot geringer verbruik kan leiden. Naast deze kwantiteitsaspecten zijn dus de kwaliteitsaspecten van steeds groter belang geworden en nemen de problemen van de lozing van vast en vloeibaar afval een centrale plaats in. Bovendien is de laatste jaren steeds duidelijker de nauwe relatie naar voren gekomen die er bestaat tussen het oppervlaktewater en het grondwater, alsmede de relatie tussen de waterkwantiteit en de waterkwaliteitsaspecten. Het is dan ook niet langer mogelijk om voor bepaalde problemen afzonderlijk oplossingen te zoeken, maar er moet worden nagegaan wat de gevolgen van bepaalde ingrepen zijn op verschillende terreinen en welke oplossing in het geheel gezien optimaal is. Hiermee is het water-vraagstuk uiterst gecompliceerd geworden en de huidige multi-disciplinaire aanpak is dan ook geen modeverschijnsel maar een dwingende noodzaak om tot een verantwoorde belangenafweging te kunnen komen. In verband met de ruimte die de benodigde werken in beslag nemen ligt er ook een belangrijke relatie met de planologie en een toetsing van de gekozen oplossingen aan andere belangen als verkeer, recreatie, landschap en natuur is noodzakelijk. Wat betreft de veranderingen ten aanzien van de onderzoeksmethoden en berekeningstechnieken noemde prof. Van Dam de

toepassing van geofysische onderzoekstechnieken, de nucleaire apparatuur voor het meten van bodemvocht, de interpretatie van pompproeven, het gebruik van chemische en radio-actieve tracers en de mogelijkheden die de remote sensing technieken bieden.

Dikwijls worden thans verkregen gegevens verwerkt in modellen waarbij onderscheid kan worden gemaakt tussen schaal-, analoge en wiskundige modellen. Het werken met wiskundige modellen is feitelijk alleen mogelijk geworden door het intensieve gebruik van computers. De modellen betreffen niet alleen de eigenlijke hydrologische modellen, zoals die voor de onverzadigde en verzadigde grondwaterstroming, voor de neerslagafvoerrelatie en voor de waterbalans, maar ook die voor de waterkwaliteit en economische modellen. De nieuwe berekening- en onderzoekstechnieken moeten er toe bijdragen dat tot een betere beleidsvoorbereiding wordt gekomen, waardoor beslissingen op waterhuishoudkundig gebied meer gefundeerd kunnen worden genomen dan thans. Hiervoor is het onder andere noodzakelijk dat alternatieve oplossingen worden gepresenteerd, waarbij de gehanteerde randvoorwaarden (uitgangspunten, normen, etc.) expliciet moeten worden aangegeven, opdat op beleidsniveau een zorgvuldige afweging mogelijk wordt. Wat betreft de bestuurlijke aspecten op waterhuishoudkundig gebied moet tenslotte worden opgemerkt, dat niet alleen een sluitend geheel van wettelijke maatregelen is vereist, maar dat ook een adequate organisatie van het waterbeheer noodzakelijk is. Het ligt voor de hand dat het waterbeheer slechts dan op wetenschappelijke basis kan worden gevoerd indien onverminderd met het waterhuishoudkundig onderzoek wordt voortgegaan, waarbij het verzamelen van de benodigde gegevens speciale aandacht blijft vragen.

Afb. 1 - Een neerslagstation in het Leerinkbeekgebied, met links een vaste en rechts een registrerende regenmeter en op de voorgrond een grondregenmeter.



Betrouwbare gegevens zijn immers noodzakelijk voor het opstellen, testen en evalueren van modellen, alsook voor het ermee opereren en voor de controle van het gevoerde beheer.

Om het belang van goede gegevens te onderstrepen zijn in de afb. 1 en 2, resp. een neerslag- en grondwaterstandmeetpunt weergegeven, terwijl in afb. 4 en op de omslag van dit tijdschrift een afvoermeetpunt staat afgebeeld.

3. Het onderzoek van de Commissie Waterhuishouding Gelderland

Tegen de achtergrond van de in de vorige paragraaf geschetste ontwikkeling op waterhuishoudkundig gebied laten de opzet en aanpak van het waterhuishoudkundig onderzoek in Gelderland zich goed beschrijven.

Het onderzoek wordt uitgevoerd door een commissie, die in het najaar van 1970 is ingesteld door Gedeputeerde Staten van deze provincie.

De Commissie kwam in feite voort uit een Commissie met een engere doelstelling, namelijk de Commissie ter bestudering van de Waterbehoefte van de Gelderse Landbouwgronden. In dat kader werd o.a. een uitvoerig hydrologisch onderzoek uitgevoerd in het Leerinkbeekgebied [1]. De huidige Commissie heeft — gezien haar doelstelling — een veel ruimere samenstelling gekregen dan de hiervoor genoemde Commissie en bestaat uit vertegenwoordigers van zowel beleids- als onderzoeksinstellingen.

In de volgende paragrafen zal allereerst de doelstelling van het onderzoek, het waterbeheerssysteem en de opzet en organisatie van het onderzoek worden besproken [2, 3]. Vervolgens zullen de grondslagen van enige in studie zijnde modellen kort worden behandeld.

3.1 Doelstelling van het onderzoek

In algemene zin kan de doelstelling van het onderzoek als volgt worden geformuleerd:

'het scheppen van een wetenschappelijke basis voor een optimaal beheer van het aanwezige oppervlakte- en grondwater in Gelderland naar kwantiteit en kwaliteit'. Deze doelstelling impliceert dat alle belangen die bij het water betrokken zijn zullen worden bestudeerd en dat de onderlinge samenhangen zullen worden vastgesteld. Er wordt uitgegaan van een optimalisatie naar het grootste maatschappelijk nut en het is duidelijk dat daarom socio-economische studies bij het onderzoek een belangrijke plaats innemen.

3.2 De deelbelangen

De onderstaande opsomming geeft een



Afb. 2 Een registrerende grondwaterstandmeter.

indruk van de deelbelangen die bij de studie zijn betrokken, waarbij echter aan de gekozen volgorde geen waarde mag worden toegekend:

- drink- en proceswater voor bevolking, industrie, landbouw;
- peilbeheersing ten behoeve van landelijke en stedelijke gebieden;
- natuur- en landschap;
- recreatie (inclusief hengelsport);
- transport en omzetting van afvalstoffen;
- scheepvaart.

Afhankelijk van de diverse functies worden aan het water kwantiteits- en kwaliteitseisen gesteld. Hierbij vormt speciaal het stellen van kwaliteitsnormen een groot probleem. Ook zijn de eisen die vanuit de verschillende gezichtshoeken worden gesteld dikwijls strijdig en beïnvloeden maatregelen, die ten behoeve van een bepaald deelbelang worden genomen, andere deelbelangen.

Als voorbeelden hiervan kunnen worden genoemd:

- de onttrekking van grondwater heeft invloed op landbouw, natuur en landschap;
- maatregelen t.b.v. de landbouw hebben omgekeerd ook invloed op de grondwateronttrekking (verleggen van leidingen; peilregeling beïnvloedt onttrekking voor andere doeleinden);
- waterinlaat voor landbouw en drink-

watervoorziening bij voorkeur niet direct beneden vuilozingspunten;

- afvalwaterlozingsmogelijkheden hangen af van de optredende afvoeren in de beek;
- afvalwaterlozingen kunnen leiden tot grotere P- en N-rijkdom, algengroei en duurder onderhoud;
- zowel de kwaliteit van het oppervlaktewater als van het grondwater kan worden beïnvloed door lozingen van vloeibaar en vast afval op het land.

De belangrijkste relaties die zich laten onderkennen zijn die tussen:

- het oppervlaktewater en grondwater;
- de waterkwantiteit en waterkwaliteit;
- de afvallozing en de waterkwaliteit (zowel voor vast als vloeibaar afval en zowel in relatie tot het open water als tot het grondwater);
- het watergebruik voor verschillende doeleinden (concurrentiepositie).

Het is duidelijk dat een model, waarin deze elementen een plaats zullen moeten vinden, een zeer complex karakter zal krijgen.

In feite zal er geen sprake kunnen zijn van één waterhuishoudkundig model, maar van verschillende deelmodellen voor de diverse subsystemen. Dit brengt vanzelfsprekend problemen met zich mee voor de optimalisatie van het systeem als geheel. De 'hieraarchiaal multi-level' benadering biedt hier perspectief [4].

3.3 Het waterbeheerssysteem en zijn omgeving

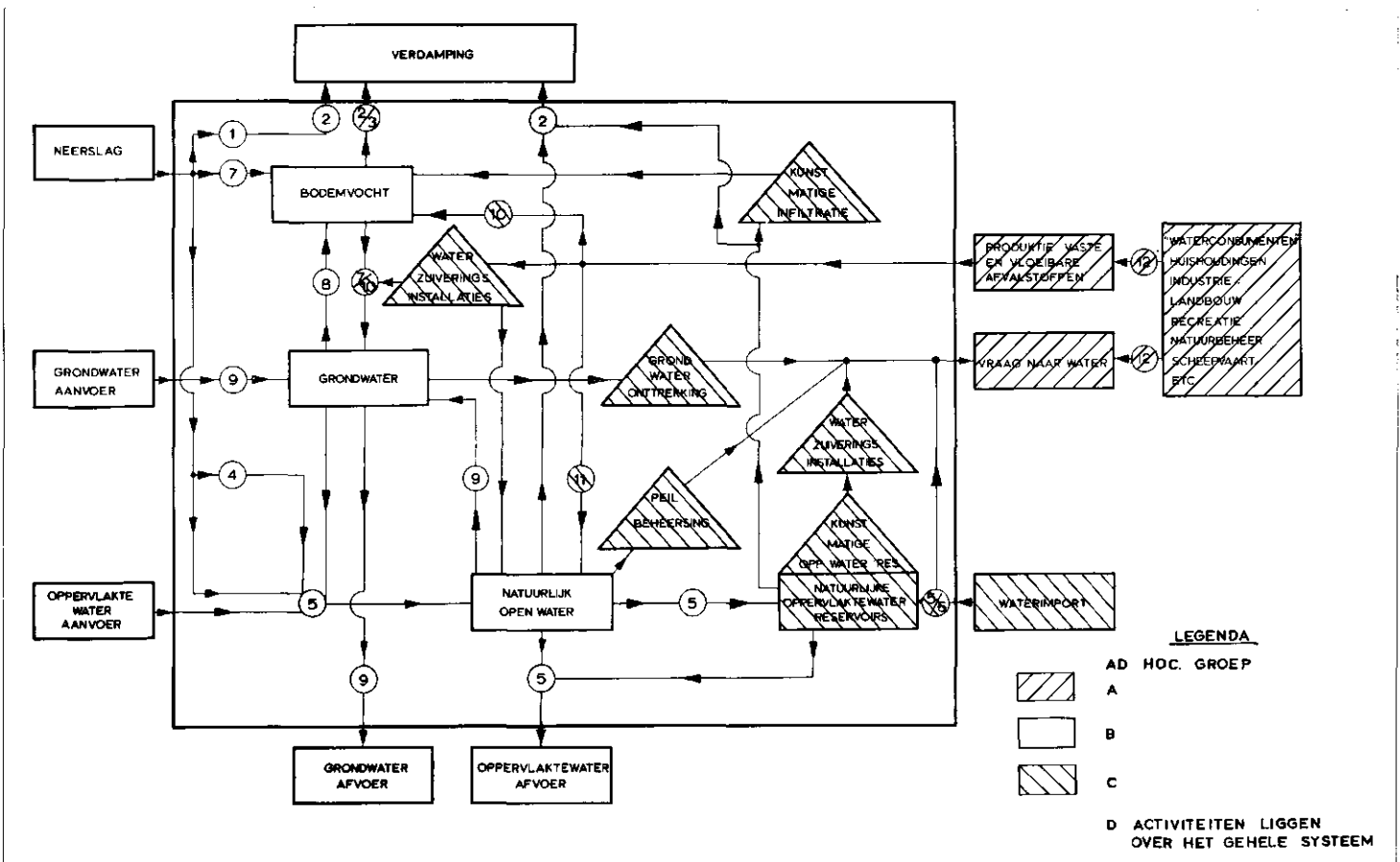
In aansluiting op de in de vorige paragraaf globaal uitgewerkte probleemstelling kan de omgeving van een waterbeheerssysteem voor een bepaald gebied als volgt worden gekarakteriseerd (zie afb. 3).

Het socio-economisch systeem, waarbij de volgende subsystemen kunnen worden onderscheiden:

- vraag naar water (kwantiteit en kwaliteit) voor de verschillende functies;
- produktie van afvalstoffen t.g.v. het gebruik van water voor de verschillende functies.

Het natuurlijk hydrologisch systeem, waarbij de volgende subsystemen kunnen worden onderscheiden:

- neerslag;
- verdamping;
- in- en uitstromend oppervlaktewater;
- in- en uitstromend grondwater;
- waterimportbronnen.



Afb. 3 - Schematisch diagram van een waterbeheersysteem en zijn omgeving.

Binnen een waterbeheersysteem zelf kunnen de volgende subsystemen worden onderscheiden:

- grondwaterreservoirs;
- bodemvochtreservoirs;
- oppervlaktewaterreservoirs;
- infiltratiesystemen t.b.v. aanvulling grondwater;
- pijpleidingen, open watergangen, gemalen, stuwen, pompen, putten, etc.;
- waterzuiveringsinstallaties.

In afb. 3 geven de rechthoeken de natuurlijke elementen en de driehoeken de kunstmatige elementen (controleerbaar) van een waterbeheersysteem aan.

Deze subsystemen zijn de hoofdcomponenten van het waterbeheersysteem en een goed samenspel van deze systemen is het doel van het optimaliseringsproces. Het transport van water en afvalstoffen tussen de verschillende subsystemen vindt plaats door dynamische processen, beschreven door parametrische relaties, welke in afb. 3 zijn weergegeven als genummerde cirkels met de volgende betekenis:

1. Interceptie.
2. Evaporatie.

3. Transpiratie.
4. Strooming over het landoppervlak.
5. Strooming in open leidingen.
6. Strooming in pijpleidingen, oppompen door gemalen, etc.
7. Infiltratie en percolatie.
8. Capillaire opstijging.
9. Grondwaterstroming.
10. Transport en omzetting van afvalstoffen in de bodem.
11. Transport en omzetting van afvalstoffen in open water.
12. Socio-economische processen.

De onderlinge relaties worden in afb. 3 door pijlen aangegeven. Gedurende het transport van het ene naar het andere subsysteme ondergaat het water ook in kwalitatieve zin (fysisch, chemisch, biologisch) veelal een verandering, waardoor de bruikbaarheid voor verschillende doeleinden wordt bepaald.

Bovengenoemde relaties, tezamen met de constructiekosten en de kosten van het opereren met de elementen van deze subsystemen, vormen de fysische en economische beperkingen gesteld aan het gezamenlijk functioneren van de subsystemen.

Een optimalisatie studie van het gehele

waterbeheersysteem is vaak niet mogelijk vanwege het grote aantal variabelen.

Veelal is het echter wel bij benadering mogelijk de werking van een aantal subsystemen onafhankelijk van de andere subsystemen te optimaliseren. Dit proces wordt optimalisatie door decompositie genoemd.

Dit decentralisatie principe stelt dat een systeem kan worden ontbonden in een aantal subsystemen, welke individueel kunnen worden geoptimaliseerd indien alle subsystemen onafhankelijk van elkaar opereren. Hoewel het principe zeker juist is, is het in de praktijk moeilijk subsystemen te vinden, die deze complete onafhankelijkheid bezitten.

Een poging tot integrale optimalisatie van alle subsystemen van het waterbeheersysteem kan alleen worden ondernomen, indien deze subsystemen en hun outputs t.g.v. operationele beslissingen parametrisch kunnen worden gedefinieerd. De fysische karakteristieken van de subsystemen moeten bekend zijn of worden geschat en kosten, baten en andere parameters moeten worden uitgedrukt als functies van wateronttrekking en -aanvulling, waterzuivering of andere activiteiten.

3.4 Opzet en organisatie van het onderzoek

Globaal gesproken kan bij een onderzoek als het onderhavige op een tweetal manieren tewerk worden gegaan. Men kan beginnen met de betrokken belangen en relaties op een zeer schematische wijze in een systeem te beschrijven en de onderlinge samenhangen aan te geven. Een dergelijke eerste benadering kan men vervolgens proberen te verbeteren en te detailleren, waardoor de uitspraken die men kan doen uiteraard ook nauwkeuriger worden. Vervolgens kan men steeds opnieuw trachten tot een verbetering en verfijning van het model te komen. Het voordeel van deze aanpak is dat men reeds snel een redelijk beeld krijgt van de meest essentiële relaties en ook direct wordt geconfronteerd met de problemen die bij de integratie van de deelsystemen aan de orde komen.

Als nadeel van deze aanpak moet worden genoemd dat niet gemakkelijk tot een consequente en logische opzet van het gehele systeem wordt gekomen, omdat er in feite steeds weer wat wordt 'aangebred'. Ook blijft het moeilijk te beoordelen welke factoren wel en niet in het model moeten worden opgenomen.

In Gelderland is voor een andere aanpak van de studie gekozen, waarbij eerst de verschillende deelsystemen nader worden geanalyseerd, om na te gaan, welke factoren speciaal van belang zijn. Hierdoor loopt men een minder grote kans, dat bepaalde essentiële zaken worden verwaarloosd. Ook kan na verloop van tijd meer gefundeerd worden bepaald, welke aspecten weggelaten kunnen worden. Het gehele systeem kan bovendien een meer consequente opbouw krijgen en doorzichtiger blijven.

Het gevaar dat bij bepaalde deelstudies teveel in detail wordt getreden is bij deze opzet aanwezig, maar kan worden beperkt door een regelmatige toetsing aan de ontwikkelingen bij de andere modellen. Om toch ook reeds in dit geval in een vroeg stadium van de studie de problemen te kunnen aftasten, die samenhangen met integratie van de deelsystemen is een zgn. voorlopig integratiemodel opgesteld. De uitkomsten van dit model zijn ook medebepalend voor het verloop van het onderzoek, omdat waardevolle indicaties worden verkregen t.a.v. de deelsystemen die in het geheel van essentieel belang zijn en waaraan speciaal aandacht moet worden geschonken.

Een ander belangrijk punt waarover bij de opzet van het onderzoek een uitspraak moest worden gedaan was of van het begin af aan de gehele provincie in studie moest worden genomen of eerst een gedeelte ervan.

Om de problematiek beter te kunnen

overzien en vooral omdat de verschillende delen van de provincie een sterk uiteenlopend karakter hebben, is voor een opzet gekozen waarbij in eerste instantie het onderzoek zich tot een deel van de provincie beperkt. Hiervoor is het deel van de provincie gekozen, dat ten oosten van de IJssel en het Pannerdens kanaal is gelegen. De reden voor deze keuze was, dat in dit gebied inderdaad conflict-situaties tussen diverse deelbelangen optreden en dat uit vroeger onderzoek reeds veel benodigde basisgegevens bekend zijn. Hoewel over de opzet van de studie uiteraard nog meer zou zijn te zeggen, zal gezien het karakter van dit artikel met het bovenstaande worden volstaan. Wel zal nog nader worden ingegaan op de organisatie van het onderzoek.

De Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland bestaat uit 28 leden en fungeert als een soort stuurgroep. De Commissie begeleidt het onderzoek en doet suggesties voor het aanvatten van bepaalde aspecten.

Het eigenlijke onderzoek wordt uitgevoerd door een werkgroep, die grotendeels uit de in de Commissie vertegenwoordigde diensten en instellingen is gekozen. De werkgroep draagt zowel in onderzoek-technisch als in organisatorisch-financieel opzicht de directe verantwoording. Hierbij heeft de voorzitter van de werkgroep de leiding en de verantwoordelijkheid voor de organisatorische en financiële aspecten. Voor de technische en wetenschappelijke aspecten berusten deze bij de projectleider.

Aan de Commissie wordt periodiek verslag uitgebracht. Over het onderzoek moet na drie jaren aan Gedeputeerde Staten worden gerapporteerd, waarna aan de hand van de verkregen resultaten zal worden beslist wat er verder gaat gebeuren. De Commissie zijn dan ook maar gelden ter beschikking gesteld voor een periode van drie jaar en wel in totaal 1 miljoen gulden.

Dit bedrag wordt gefourneerd door een aantal rijksdiensten, de streekwaterleiding-maatschappijen en de provincie, elk voor ongeveer een derde gedeelte.

Uit de werkgroep zijn een aantal ad-hoc groepen gevormd, die elk een specifieke taak hebben gekregen. Deze taken laten zich gemakkelijk beschrijven aan de hand van afb. 3.

Ad-hoc groep A. Deze groep maakt een studie van de socio-economische aspecten van de waterhuishouding en houdt zich o.a. bezig met de vraag naar water en het aanbod van vuil; het opstellen van nutsfuncties voor watergebruik en vervuilinggelegenheden en het opstellen van maatschappelijke kostenfuncties voor het water-

aanbod, gebaseerd op het onderzoek van ad-hoc groep C.

Ad-hoc groep B. Deze groep houdt zich bezig met de hydrologische aspecten. De processen van neerslag, verdamping en afvoer zijn in studie evenals de stroming van water in de verzadigde en onverzadigde zone.

Ad-hoc groep C. Binnen deze groep worden de mogelijkheden, noodzaak en gevolgen van ingrepen in de natuurlijke kringloop van het water bestudeerd. Dit geldt zowel voor de waterkwantiteit als -kwaliteit. Voor een aantal alternatieve ingrepen worden de technische kostenfuncties vastgesteld (drinkwaterbereiding uit grond- en oppervlaktewater, kosten van afvalwaterzuivering voor de verschillende trappen van zuivering), verder de landbouwschade als produktieverlies, de schade aan de natuur (landschappelijk en hydrobiologisch) en de recreatieschade.

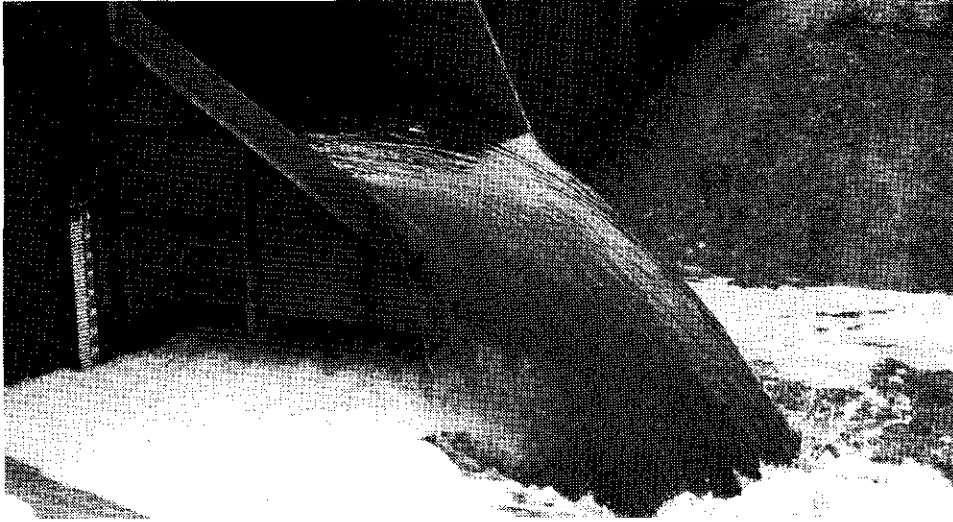
In het kader van dit onderzoek vinden dan ook een landschapskartering en een hydrobiologische kartering van de beken in de Achterhoek plaats. Een waardering in cijfers wordt hierbij gegeven, terwijl ook de relatie met het waterbeheer wordt gelegd. Het omzetten van bovengenoemde functies in maatschappelijke kosten vindt plaats in ad-hoc groep A.

Ad-hoc groep D. De taak van deze groep is te zorgen voor de begeleiding van het onderzoek in wiskundig opzicht. Hier komen in principe alle moeilijke wiskundige problemen aan de orde en moet worden gezorgd dat de mathematische opzet van de verschillende deelmodellen niet te veel divergeert.

De uitkomsten van het ene deelsysteem zullen dikwijls de input moeten vormen van het andere deelsysteem. Ook moeten de deelmodellen computertechnech overeenstemmen, zodat een koppeling tot stand kan worden gebracht. Uit de korte beschrijving van de taken van de diverse ad-hoc groepen blijkt, dat het onderzoek van de groepen op elkaar aansluit, maar elkaar hier en daar overlapt. Dit komt doordat de opsplitsing van taken vrij subjectief is, hetgeen echter geen bezwaar is. Indien namelijk in de praktijk blijkt, dat een meer optimale aanpak van de problemen wordt verkregen bij een wat andere verdeling van de taken of dat binnen een groep anders moet worden gewerkt, dan kan dit direct worden gerealiseerd. De groepen hebben immers slechts een ad-hoc karakter en er kan flexibel worden geopereerd.

4. Wiskundige modellen ten behoeve van het waterbeheer

In het kader van dit artikel kan slechts



Afb. 4 - Een afvoermeeptpunt in het Leerinkbeekgebied.

summier op de belangrijkste in ontwikkeling zijnde modellen worden ingegaan, waarbij zeker niet naar volledigheid is gestreefd. Op het hoogste niveau staat het *integraal waterbeheer* model c.q. het *socio-economisch* model, waarmee het uiteindelijke watervoorzieningsniveau naar waterkwaliteit en -kwaliteit kan worden bepaald en de onderlinge afweging van de belangen die hierbij betrokken zijn, kan plaatsvinden. Een eerste aanzet hiertoe is gegeven in een tweetal studies [5, 13]. In dit model vindt de integratie plaats van de resultaten, verkregen met een aantal deelmodellen, opgesteld voor de verschillende componenten van het waterbeheersysteem. Bij de deelmodellen kan onderscheid worden gemaakt in twee categorieën, te weten modellen die de vraag naar water beschrijven en modellen die betrekking hebben op het aanbod van water. De eerste categorie modellen worden ook wel *economische modellen* genoemd, terwijl de tweede categorie de *hydrologische modellen* omvat.

4.1 Integraal waterbeheermodel

In dit model vindt dus de confrontatie plaats tussen de vraag uitgedrukt in nutsfuncties voor de verschillende categorieën van gebruik en het aanbod uitgedrukt in kostenfuncties. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in nuts- en kostenfuncties voor watergebruik en vervuilingsegelegenheid [5]. In een eenvoudige notatie kan dit worden weergegeven door een matrix transformatie:

$$S^x = \Theta \cdot S.$$

$$\text{waarbij } S^x = \begin{bmatrix} L^x \\ T^x \\ Q^x \end{bmatrix}$$

de vraag naar water voorstelt als functie van de plaats, weergegeven door de vector L^x , de gewenste hoeveelheid

in de tijd T^x en de kwaliteit Q^x .

De matrix S stelt het natuurlijk hydrologisch systeem voor, opgebouwd uit dezelfde vectoren.

De transformatie matrix Θ is in feite het waterbeheersysteem, dat vraag en aanbod met elkaar in evenwicht moet brengen, zodanig dat het maatschappelijk nut zo groot mogelijk is of wel de maatschappelijke kosten zo klein mogelijk zijn. In de 'welfare economics' geeft de theorie van het algemeen evenwicht de voorwaarden aan waaraan de huishoudingen moeten voldoen om het maatschappelijk optimum te realiseren (Model van Pareto).

Het waterbeheer is in het optimum als aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:

$$\frac{\partial u_1}{\partial q} = c_1 ; \frac{\partial q}{\partial k_1} = c_2 \text{ en } \frac{\partial u_1}{\partial u_2} = \frac{\partial k_1}{\partial k_2}$$

De eerste voorwaarde zegt dat het marginale nut ∂u van een eenheid van hetzelfde water in alle toepassingen gelijk is. Hieruit volgt de optimale verdeling van het water onder de verschillende gebruikers.

De tweede voorwaarde zegt dat de marginale kosten voor alle produktievormen van de hoeveelheid q gelijk worden. Dit geeft de optimale produktiewijze.

De derde voorwaarde zegt dat het marginale nut van twee produkten zich verhouden als de marginale kostprijs. Dit is van toepassing waar een onderscheid wordt gemaakt tussen verschillende soorten water (en vervuiling) te weten: grondwater en oppervlaktewater voor respectievelijk industrieel en recreatief gebruik.

Door toepassing van de optimum voorwaarden kan op eenvoudige en doorzichtige wijze het optimum worden gevonden volgens een iteratie procedure.

De essentie van de werkwijze is:

- dat slechts twee eindprodukten worden onderscheiden, te weten water voor gebruik en vervuilingsegelegenheid;
- dat van die twee produkten kostenfuncties en nutsfuncties worden bepaald, die de omhullende zijn van de mogelijke produktiekosten (minimale kostenoplossingen) resp. de omhullende van mogelijke nutsopbrengsten bij aanwending (maximale nutsopbrengsten).
- dat de interrelatie tussen de kosten en het nut van beide produkten worden bepaald.

Uit het bovenstaande volgt dat een sub-optimalisatie van nuts- en kostenfuncties reeds moet hebben plaats gehad, hetgeen met de deelmodellen is geschied.

De relatie van het waterbeheersysteem met andere maatschappelijke subsystemen kan via de beleidssimulatie worden ingebouwd. De beleidssimulatie corrigeert veronderstellingen of vraagt naar de uitkomst onder alternatieve veronderstellingen, waaruit nieuwe kosten- en nutsfuncties volgen. Tenslotte kan hierbij worden vermeld dat dit model wordt doorerekend met stappen van 5 jaar en in eerste instantie zal worden toegepast op de Achterhoek.

4.2 Deelmodellen

4.2.1 Economische (vraag)modellen

De beschrijving van de vraag naar water en het vaststellen van de nutsfuncties van het watergebruik en vervuilingsegelegenheid geschiedt in economische modellen, waarbij wordt uitgegaan van de omvang en samenstelling van bevolking en produktie.

Uitgaande van een input-output matrix, welke de produktiestructuur vastlegt, sectorale groeïndices, sectorale vervuilingen- en waterverbruikscoefficienten, kan de vraag naar water door huishoudingen en industrie, recreatie etc. als puntschattingen worden vastgesteld. Voor een economische beoordeling of meer of minder water aan een bepaalde bestemming moet worden toegewezen, is echter ook nodig een bepaling van het nut en de variatie in nut wanneer meer of minder water voor een bepaalde bestemming wordt gebruikt. Dit laatste wordt aangeduid als elasticiteit. Bij het onderzoek kan worden volstaan met het vaststellen van een beperkt traject op de nutscurve rond het geraamde verbruik. Het vaststellen van de nutsfuncties voor de verschillende vormen van waterverbruik is thans in volle gang en geeft bij de uitwerking nog vele problemen, die moeten worden opgelost.

4.2.2 Hydrologische (aanbod)modellen

Voor de beschrijving van het aanbod van water vormen hydrologische modellen de basis voor de suboptimalisatie voor

produktie en gebruik van water en voor de vervuilingsoelegenheid.

Bij de optimalisatie moeten verschillende mogelijkheden worden afgewogen naar hun kosten. Onder andere moet de schade voor landbouw en natuur worden opgenomen en afgewogen tegen andere mogelijkheden van produktie.

Op analoge wijze moeten bij het scheppen van vervuilingsoelegenheid de zuiveringskosten worden afgewogen tegen de schade van het accepteren van vervuiling.

De wens van een schoon milieu voor natuur en recreatie komt in deze afweging dan ook voor als een kostenfactor.

Om deze suboptimalisatie te kunnen uitvoeren is het noodzakelijk te beschikken over goede beschrijvende modellen van het hydrologische systeem, waarmee de fysische gevolgen van menselijke ingrepen kunnen worden gesimuleerd.

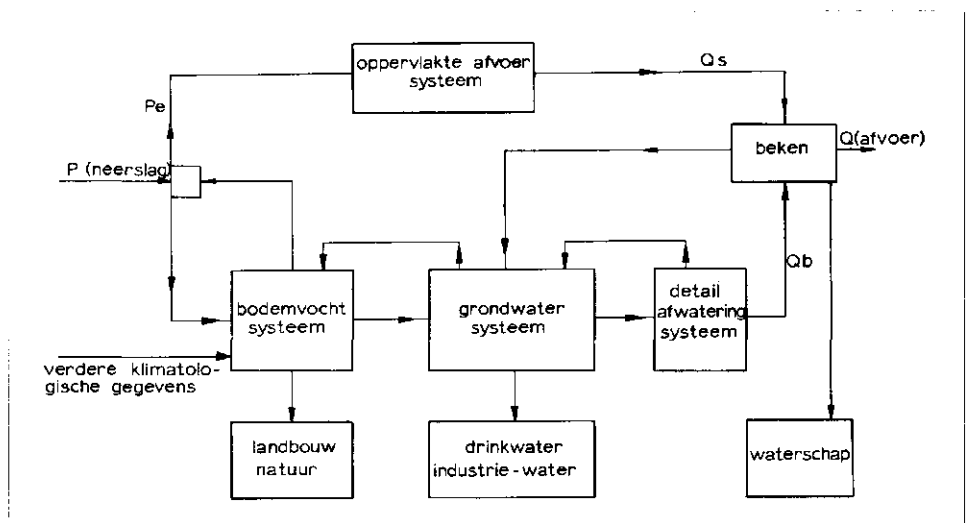
Nadat de fysische gevolgen in economische zin zijn vertaald, kan de suboptimalisatie plaats vinden.

4.2.3 Kwantiteitsmodellen voor het beheer van grond- en oppervlaktewater

Voor de beschrijving van de waterbeweging binnen een gebied is de stroming door de atmosfeer, het open water stelsel, de grond en het gewas (c.q. begroeiing) van belang. Het kwantificeren van dit transport naar tijd en plaats binnen een groot, niet homogeen gebied is één van de belangrijkste aspecten van het waterbeheermodel. De interactie van de verschillende deelsystemen maakt het model bijzonder gecompliceerd. In het model zijn de volgende deelsystemen wiskundig geformuleerd:

- het meteorologisch systeem (neerslag en verdamping);
- het gewassysteem c.q. begroeiing;
- het onverzadigd grondwater c.q. bodemvochtsysteem;
- het verzadigd grondwatersysteem;
- het open watersysteem.

In afb. 5 is de samenhang en de interactie tussen de verschillende subsystemen schematisch weergegeven, terwijl tevens de menselijke ingrepen zijn aangegeven. De submodellen zijn zoveel mogelijk gebaseerd op fysische wetten, aangevuld met empirische kennis, zodat de parameters van het model directe fysische betekenis hebben. Een integratie van meteorologische, landbouwkundige, bodemfysische, geo-hydrologische en waterstaatkundige kennis vindt bij de opbouw van dit model plaats. Het driedimensionale, dynamische (d.w.z. met de tijd variërend) model is in staat een heterogene regionale waterbeheerseenheid



Afb. 5 - Een kwantiteitsmodel voor het hydrologisch deelsysteem.

te beschrijven en de consequenties van menselijke ingrepen te voorspellen [6, 7]. In dit model wordt de verzadigde grondwaterstroming horizontaal verondersteld. De ruimtelijke structuur van dit submodel wordt voorgesteld door een netwerk, waarbij aan de oplossingstechniek de eindige elementmethode ten grondslag ligt. Tevens kan hiermee ook een twee lagen probleem worden beschreven. Op de knooppunten van dit netwerk wordt de relatie gelegd met

1. het onverzadigd grondwatersysteem, waarvan wordt aangenomen dat de stroming verticaal is en
2. het open watersysteem, waarvan de belangrijkste beken zijn ingebouwd.

Voor de detailontwatering wordt volstaan met het inbouwen van een empirische relatie per element. Met dit model is het nu mogelijk om het effect na te gaan van grondwateronttrekking en beekpeilregeling op de grondwaterstand, de werkelijke verdamping en de afvoer.

Toepassing van bovengenoemd model vindt thans plaats op enkele gebieden in de Achterhoek. Naast dit gecompliceerde model is tevens een model in studie waarbij de interacties tussen de verschillende subsystemen vereenvoudigd zijn weergegeven of verwaarloosd. Dit model wordt thans toegepast op de gehele Achterhoek [8]. In beide modellen wordt met tijdstappen van 10 dagen gerekend.

Het rekenen met dit tijdsinterval heeft tot gevolg dat de oppervlakkige afvoer en de afvoer d.m.v. de detailontwatering, welke de snelle componenten in het afvoerproces vormen, niet nauwkeurig kunnen worden beschreven.

Het model is dan ook met dit tijdsinterval

niet in staat de hoge afvoeren, gedurende korte tijdsduur, te beschrijven. Het rekenen met kleinere tijdsintervallen is met dit model in principe mogelijk, maar wordt rekentechnisch een zeer kostbare zaak. Mede gezien het belang van deze snelle componenten voor de voeding van het grondwatersysteem, zal met behulp van een neerslag-afvoermodel worden vastgesteld welk deel van de neerslag snel wordt afgevoerd.

Hiermee wordt het mogelijk de empirische relatie tussen grondwaterstand en snelle afvoer via detailontwatering vast te stellen. Een eenvoudig drie parameter neerslag-afvoer model is ontwikkeld, waarvan de parameters zeer snel m.b.v. een elektrisch analoog kunnen worden vastgesteld op grond van neerslag- en afvoergegevens van een stroomgebied [9].

Het model is empirisch en menselijke ingrepen kunnen niet worden ingebouwd. Met dit model is het echter goed mogelijk inzicht te krijgen in de snelle componenten van het afvoerproces, zoals boven reeds is aangegeven. Tevens is het met dit model mogelijk afvoerpieken te voorspellen, welke van belang zijn voor het vaststellen van de capaciteit van gemalen, watergangen en reductie bekkens.

In combinatie met het grondwaterbeheersmodel kan wellicht tevens worden nagegaan, welke invloed bepaalde waterbeheersmaatregelen hebben op de afvoerpieken en daarmee op de ontwerp criteria voor beekverbeteringswerken en reductiereservoirs. Voorts zijn nog twee andere neerslag-afvoermodellen in studie, waarbij tevens aandacht wordt geschonken aan de afvoer van stedelijke gebieden [10]. Hierop zal thans verder niet worden ingegaan.

4.2.4 Waterkwaliteitsbeheermodel

De waterkwaliteit van het oppervlakte-water kan niet door één bepaalde variabele worden gekarakteriseerd, omdat diverse afbreekbare en niet-afbreekbare stoffen uiteindelijk de waterkwaliteit bepalen. Als één van de belangrijkste kwaliteitsvariabelen voor het oppervlakte-water is de zuurstof genomen. Voor de berekening van de zuurstofconcentratie is het noodzakelijk de verontreiniging die bij biologische oxidatie door micro-organismen zuurstof verbruikt, te karakteriseren als 'biological oxygen demand' (BOD). Naast het model voor de zuurstof ontstaat dan een model voor de BOD.

Het doel van het zuurstofmodel is te voorspellen, waar en wanneer de zuurstofconcentratie te laag wordt. Tevens kan met dit model worden nagegaan welke zuiveringsmaatregelen moeten worden genomen om dit te voorkomen. Rekening houdend met het zelfreinigend vermogen van de beek wordt voor ieder lozingspunt, bij een gegeven BOD-productie de zuiveringsgraad (1e, 2e, 3e en/of 4e trap) bepaald, zodat tegen minimale kosten de kwaliteit van het open water aan bepaalde normen voldoet.

In het dynamische model wordt de beek in verschillende secties opgesplitst, waarbij de stroming als één dimensionaal wordt beschouwd [11].

Per sectie moeten de parameters worden vastgesteld, terwijl het zuurstofgehalte als gemiddelde waarde per sectie wordt berekend.

Ook bij de ontwikkeling van dit model is getracht dit zoveel mogelijk te baseren op fysische wetten, aangevuld met empirische kennis, waardoor de parameters fysische betekenis hebben. Er ontstaat dus een verklarend model, waardoor een beter inzicht in de zuurstofhuishouding van een beek wordt verkregen. De partiële differentiaalvergelijking, die de wiskundige grondslag vormt voor het model, is opgebouwd uit een dispersie term, welke empirisch wordt bepaald, een convectie term, afhankelijk van de afvoerintensiteit en een reactieterm. Deze reactieterm is de verandering van de zuurstofconcentratie per tijdseenheid ten gevolge van andere dan transportverschijnselen [12].

Uit een uitgebreid meetprogramma voor diverse beken in de Achterhoek bleek dat de ademhaling en de fotosynthese van de beekbegroeiing een zeer grote invloed hebben op de zuurstofhuishouding.

Dit maakt het modelleren van de zuurstofhuishouding van beken zeer gecompliceerd. Aan de ontwikkeling van dit model wordt nog verder gewerkt.

Uit het bovenstaande volgt dat de relatie

c.q. interactie met het afvoermodel is gelegen in de convectieterm, waarin de afvoerintensiteit voorkomt.

Verder blijkt in de reactieterm de reeratie tevens een functie te zijn van de stroomsnelheid en de waterdiepte.

Op deze wijze is een koppeling tussen kwaliteits- en kwantiteitsbeheer gelegd. Bovengenoemde hydrologische modellen zullen eerst afzonderlijk op hun geldigheid worden getoetst door ze toe te passen op verschillende gebieden en beken in de Achterhoek. Daarna zal naar een koppeling van de verschillende deelmodellen worden gestreefd.

5. Samenvatting

In het bovenstaande is een overzicht gegeven van de aanleiding, doelstelling, opzet en uitvoering van het onderzoek van de Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland, terwijl ook van een aantal modellen de grondslagen zijn besproken.

Deze beschrijving zal ook kunnen dienen als inleiding en achtergrondschets voor de verschillende deelstudies die in dit kader in uitvoering zijn. Het ligt namelijk in de bedoeling om over de diverse deelstudies in de vorm van artikelen te rapporteren. Het in dit artikel gegeven overzicht geeft dan duidelijk de plaats aan die de desbetreffende deelstudie in het geheel van het onderzoek inneemt.

Literatuur

1. Commissie waterbehoefte Gelderse landbouwgronden. *Hydrologisch onderzoek in het Leerinkbeekgebied*, 2e interim-rapport 1970.
2. Werkgroep van de Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland. *Uitgangspunten en opzet van het waterhuishoudkundig onderzoek in Gelderland*. Nota 1, sept. 1972.
3. Werkgroep van de Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland. *Nadere analyse van de waterhuishoudkundige problemen en beschrijving van de werkprogramma's van de ad-hoc groepen*. Nota 2, sept. 1972.
4. Haimes, dr. Yacov Y. (1973). *Hierarchical modelling of regional total water resources systems*. Symposium on control of water resources systems. Haifa, Israel.
5. Locht, drs. L. J. (1973). *Regionaal waterbeleid, beleidsdoelstellingen en structuur van de afwegingsprocedure*. Nota 768. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding.
6. Akker, ir. C. van den en Laat, ir. P. J. M. de (1973). *De ontwikkeling van een waterbeheermodel*. Interne nota van de werkgroep; bijdrage Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening en Internationale Cursus, Delft.
7. Rijtema, dr. ir. P. E. (1973). *Koppeling van het verdampingsmodel met het grondwaterstromingsmodel*. Interne nota werkgroep, bijdrage Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding.
8. Keuning, dr. ir. D. H. (1973). *Een wiskundig model voor grondwaterbeheer in de Achterhoek*. Rapport van de werkgroep; bijdrage afdeling Hydraulica-afvoerhydrologie, Landbouw Hogeschool.
9. Kraijenhoff-van de Leur, prof. ir. D. A.

(1973). *Een elektrisch analogon voor het neerslag-afvoermodel Wageningen*. Nota 25. Afdeling Hydraulica en afvoerhydrologie. Landbouw Hogeschool.

10. Nes, dr. ir. Th. J. van de (1973). *Linear analysis of a physically based model of a distributed surface run-off system*. Agricultural Research Reports 799, Wageningen.
11. Boer, ir. B. de (1973). *Kwaliteitsmodellen voor beken en rivieren in het bijzonder de Groenlose Slinge*. Rapport van de werkgroep; bijdrage afdeling Chemische technologie, Technische Hogeschool Twente.
12. Boer, ir. B. de (1973). *Een BOD- en zuurstofmodel voor beken en rivieren*. Rapport van de werkgroep; samenvatting van de werkzaamheden door de leden van de Afdeling Chemische Technologie, Technische Hogeschool Twente.
13. Hagen, drs. J. H. (1973). *Economische aspecten van het optimaal waterbeheer in Gelderland*. Serie A: Economische aspecten no. 6, Instituut voor milieuvraagstukken aan de Vrije Universiteit, Amsterdam.

