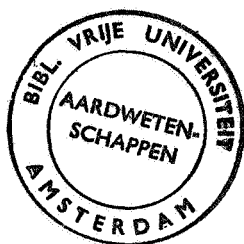


HYDROLOGICAL INVESTIGATIONS FOR MASTERPLAN FOR THE
FUTURE WATERSUPPLY IN THE NETHERLANDS



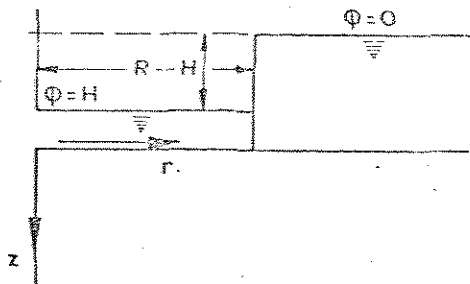
COPYRIGHTS © BIJ CENTRAL ORGANIZATION FOR APPLIED SCIENTIFIC
RESEARCH IN THE NETHERLANDS T.N.O. 1975

E R R A T U M

VERSLAGEN EN MEDEDELINGEN nr. 16 (1975)

" Het hydrologisch onderzoek ten behoeve van het structuurschema drink- en industriewatervoorziening Nederland".

Onderaan op pagina 91, hoofdstuk VI (11.)
toe te voegen :



COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK T.N.O.

VERSLAGEN EN MEDEDELINGEN NO. 16

HET HYDROLOGISCH ONDERZOEK
TEN BEHOEVE VAN
HET STRUCTUURSCHEMA DRINK-
EN INDUSTRIEWATERVOORZIENING
NEDERLAND

VERSLAG VAN DE

TECHNISCHE BIJEENKOMST 29

INHOUD

HET HYDROLOGISCH ONDERZOEK TEN BEHOEVE VAN HET STRUCTUUR- SCHEMA DRINK- EN INDUSTRIEWATERVOORZIENING NEDERLAND.

I. Het Structuurschema Drink- en Industrierwatervoorziening 1972 als achtergrond voor het hydrologisch onderzoek, P. J. VERKERK	9
Summary	9
1. Inleiding en stand van zaken structuurschema	9
2. Opbouw structuurschema	12
3. Geohydrologisch onderzoek in het kader van het structuurschema	14
3.1. Het grondwater	14
3.2. Het oppervlaktewater	16
3.3. De waterhuishouding	17
3.4. De organisatie van het onderzoek	17
II. Regionaal geohydrologisch onderzoek, E. ROMIJN	19
Summary	19
1. Doelstelling van het regionaal geohydrologisch onderzoek	20
2. Wijze van uitvoering van het regionaal onderzoek	20
3. Verruimde opzet van het huidig regionale geohydrologische onderzoek	22
4. Nieuwe onderzoeksmethoden, berekeningswijzen en hun resultaten	23
4.1. Geohydrologisch onderzoek	23
4.2. Berekeningsmethoden	23
5. Problematiek inzake de mogelijke grondwaterwinning t.b.v. de drink- en industriewatervoorziening	26
Literatuur	27
III. Agro-hydrologisch onderzoek in relatie tot het structuurschema voor de toekomstige drinkwatervoorziening, H. J. COLENBRANDER	33
Summary	33
1. Inleiding	33
2. Bestaande berekeningstechnieken	35
3. Andere aspecten van het grondwaterstand-landbouwopbrengstprobleem	45
4. Regionaal waterhuishoudkundig onderzoek	48
5. Conclusies	51
Literatuur	52
IV. Oppervlaktewater en voorraadvorming, Th. G. MARTIJN	53
Summary	53
1. Inleiding	53
2. Verwerking van oppervlaktewater	54
2.1. De bron waaraan het water wordt onttrokken	54
2.2. De voorraad	55
2.3. De zuivering	55
2.4. Transport van het eindprodukt	56
3. Voorraadvorming bij gebruik van Maaswater	56
4. Voorraadvorming bij gebruik van Rijnwater	59
Literatuur	65

V. Kunstmatige infiltratie, A. J. ROEBERT	66
Summary	66
1. Inleiding	66
2. Kunstmatige infiltratie in de duinen nabij Zandvoort	68
2.1. Het eerste infiltratiegebied	68
2.2. Spreiding van de verblijftijden	70
2.3. Controle op de gevonden relatie	73
2.4. Schoonmaken van de infiltratiegeulen	73
2.5. Slotopmerkingen	73
3. Kunstmatige infiltratie op de Veluwe	74
3.1. Geohydrologische aspecten	74
3.2. Natuurlijk en kunstmatig grondwater in de Veluwe	76
3.3. Opzet van infiltratie- en winningsbedrijf	76
3.4. Proefinstallatie te Leiduin	79
4. Vergelijking tussen de kunstmatige grondwateraanvulling in de duinen en in de Veluwe	80
4.1. Doel	81
4.2. Infiltratiewater	81
4.3. Teruggewonnen water	81
4.4. Watervoerend pakket	81
4.5. De grondwaterstand	81
4.6. Uitgangssituatie	82
4.7. Infiltratie-middelen	82
4.8. Terugwinning	82
4.9. Infiltratie-snelheid en schoonmaak	83
5. Besluit	83
Literatuur	84
VI. Geohydrologisch onderzoek in verband met de bouw van spaarbekkens, G. A. BRUGGEMAN	85
Summary	85
1. Gesteldheid van de ondergrond	85
2. Het belang van kennis van grondwaterstromingen	85
3. Het verkrijgen van kennis van de grondwaterstromingen	86
4. De berekeningsmethoden	86
5. Analytische oplossingen	87
6. Horizontale en verticale snelheidscomponenten	87
7. Anisotropie	88
8. Differentiaal vergelijking	89
9. Methode van de conforme transformatie	90
10. De integraal-transformatiemethoden	91
11. Toepassing van de integraal-transformatiemethoden	91
VII. Waterhuishoudkundige aspecten, H. M. OUDSHOORN,	95
Summary	95

FUNCTIE VAN DE INLEIDERS TEN TIJDE VAN DE TECHNISCHE BIJEENKOMST

- | | |
|------------------------|---|
| IR. P. J. VERKERK | Hoofdingenieur van het Stafbureau Planning van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Den Haag. |
| DRS. E. ROMIJN | Wetenschappelijk hoofdambtenaar Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Den Haag. |
| IR. H. J. COLENBRANDER | Hoofdingenieur van de Provinciale Waterstaat van Gelderland, Arnhem. |
| IR. TH. G. MARTIJN | Adjunct-directeur van het Keuringsinstituut voor Waterleiding-artikelen KIWA N.V., Den Haag. |
| IR. A. J. ROEBERT | Hoofdingenieur Gemeentewaterleidingen van Amsterdam, Amsterdam. |
| IR. G. A. BRUGGEMAN | Hoofdingenieur Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Den Haag. |
| IR. H. M. OUDSHOORN | Hoofdingenieur-directeur van de Rijkswaterstaat in de Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Den Haag. |

I. HET STRUCTUURSCHEMA
DRINK- EN INDUSTRIEWATERVOORZIENING 1972
ALS ACHTERGROND VOOR HET HYDROLOGISCH ONDERZOEK

P. J. VERKERK
Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening

SUMMARY

THE MASTER PLAN FOR THE FUTURE WATER SUPPLY IN THE NETHERLANDS AS A
BACKGROUND FOR THE HYDROLOGICAL PROGRAMME

A Master Plan for the future water supply has been completed in draft. The plan includes the construction of storage reservoirs the application of artificial recharge and a further development of the groundwater resources, to meet the future water demands of population and industry. Thorough hydrological investigations have to be carried out before a water supply project is taken up in the Master Plan. After that, more detailed investigations are necessary in case the works will be executed.

The purpose of the groundwater investigations is primarily to estimate the feasible groundwater withdrawal, taking into account other interests like agriculture and the conservation of nature and environment. Storage reservoirs and artificial recharge need extensive hydrogeological research because of their potential influence on the hydrological conditions in the surroundings. Hydrological models for an integrated groundwater and surfacewater management have to be developed.

1. INLEIDING EN STAND VAN ZAKEN STRUCTUURSCHEMA

Het woord structuurschema is sinds ruim een jaar een nieuw begrip in de wereld van de drinkwatervoorziening. De problematiek die hierin wordt behandeld is echter niet geheel onbekend en is deels vertrouwd onder de naam basisplannen.

In 1964 is door de toenmalige Minister van Sociale Zaken en Volksgezondheid opdracht gegeven tot het opstellen van basisplannen voor de waterwinning als grondslag voor de toekomstige uitbreiding van de bestaande watervoorzieningen. Door middel van regionale werkgroepen basisplannen heeft dit uiteindelijk geleid tot een concept-nota basisplannen, welke behandeling in 1971 in de Rijksplanologische Commissie (RPC) plaatsvond. Deze nota, die vooral een technische nota beoogde te zijn, gaf aan hoe een nationaal watervoorzieningsplan voor het jaar 2000 er mogelijkzamerwijs uit zou kunnen zien.

Bij de behandeling van deze nota door de RPC bleek de nauwe verwevenheid van de maatregelen, die vanuit de sector van de openbare watervoorziening werden voorgesteld met de plannen die ook in andere sectoren, zoals die van de landbouw, de landinrichting, de waterhuishoudkunde e.d. worden voorbereid. De behoefte aan een integrale planning werd gevoeld. Een behoefte die overigens niet alleen kenmerkend is voor de watervoorziening alleen. Deze planningsproblemen komen in nog veel sterkere mate aan het daglicht, wanneer het gaat om zich een toekomstig beeld van de ruimtelijke ordening binnen Nederland te scheppen.

Reden waarom de Minister van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, zeer recent, in januari 1972 aan de RPC heeft verzocht een aanvulling op de Tweede Nota over de Ruimtelijke Ordening van Nederland voor te bereiden. In dit streven past het opstellen van structuurschema's voor de openbare nutsvoorzieningen en de communicatiesystemen. Zo zullen o.a. structuurschema's worden voorbereid m.b.t. Verkeer en vervoer, Vaarwegen, Zeehavens, Vliegvelden, Watervoorziening, Electriciteitsvoorziening, Buisleidingen en Afvalstoffen.

Kort, maar krachtig kan het geformuleerde beleid ten aanzien van de drink- en industriewatervoorziening een structuurschema worden genoemd.

Ten opzichte van de eerder opgestelde concept-nota basisplannen betekende dit een volledig andere benadering van de drinkwaterproblematiek. Had eerst centraal gestaan het technisch watervoorzieningsplan 2000 sec, thans wordt belangrijk, hoe met een bepaalde toekomstvisie van de openbare watervoorziening voor ogen, vanuit de bestaande situatie een gezamenlijk beleid, een Regeringsbeleid wordt gevoerd, dat zo goed mogelijk in overeenstemming is met de toekomstvisies, zoals die ook in andere sectoren dan de drink- en industriewatervoorziening worden voorbereid.

In het afgelopen jaar is daartoe in een speciale werkgroep van de RPC, waarin vertegenwoordigd waren de departementen: Verkeer en Waterstaat, Landbouw, Cultuur, Recreatie en Maatschappelijk Werk, Economische Zaken, Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening en Volksgezondheid en Milieuhygiëne, gewerkt aan de voorbereiding van een structuurschema drink- en industriewatervoorziening. Een eerste ontwerp is onlangs gereed gekomen en is eind februari besproken in de RPC. Ook de ICMH (Interdepartementale Coördinatiecommissie voor de Milieuhygiëne) heeft het ontwerp-structuurschema besproken, terwijl het voorts ter kennisneming is toegestuurd aan de Raad van de Waterstaat.

Naar aanleiding van dit overleg worden nog enige aanwijzingen aangebracht, en kan het ontwerp-structuurschema drink- en industriewatervoorziening 1972 medio 1973 aan de Regering worden aangeboden, waarna hopelijk spoedig tot vaststelling en publicatie van het ontwerp-structuurschema zal worden besloten.

Het ligt in de bedoeling dat het structuurschema als planologische kernbeslissing van de Regering wordt aangemerkt en dienovereenkomstig een inspraakprocedure zal ondergaan, zoals deze in de brief van de Minister van Volkshuisvesting en Ruim-

telijke Ordening d.d. 19 september 1972 aan de Tweede Kamer wordt voorgesteld. Thans zal hierop niet verder worden ingegaan. *

Tot zover de stand van zaken rond het structuurschema. Behalve het structuurschema zijn nog twee andere vormen van planning te onderscheiden. Genoemd kunnen worden het tienjarenplan en de wettelijke basisplannen.

Het tienjarenplan is een verbijzondering van het structuurschema voor wat betreft de periode van de eerste tien jaren. Het vormt de schakel tussen het structuurschema en de wettelijke basisplannen en draagt het karakter van een werkprogramma. Het ligt in de bedoeling dat dit tienjarenplan van de zijde van de bedrijfstak wordt geëntameerd en in overeenstemming met het structuurschema wordt opgesteld. Voor de opstelling van tienjarenplannen is het nodig dat waterleidingbedrijven, in casu de VEWIN (Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland), een orgaan in het leven roept dat zich met de samenstelling van deze tienjarenplannen kan bezighouden. In de onlangs gehouden Vakantiecursus Drinkwatervoorziening aan de Technische Hogeschool te Delft zijn hierover nadere mededelingen gedaan. Voorstellen om tot de oprichting van een centraal orgaan voor de waterwinning te komen worden voorbereid.

Tenslotte de wettelijke basisplannen; het is de bedoeling deze vast te stellen bij algemene maatregel van bestuur krachtens een in de Waterleidingwet op te nemen regeling. Basisplannen hebben betrekking op onderdelen van een structuurschema of tienjarenplan. Zij betreffen één of meerdere concrete projecten en geven regels met betrekking tot de inrichting van de werken voor winning, opslag en transport van water naar de verzorgingsgebieden. Alvorens een werk de status van basisplanwerk officieel te kunnen toekennen is het nodig de Waterleidingwet in deze zin te wijzigen en uit te breiden. Een voorontwerp van wet is in concept gereed.

De combinatie van structuurschema, tienjarenplan en basisplannen moet het mogelijk maken tijdig de noodzakelijke werken van watervoorziening te kunnen uitvoeren, waarbij vooraf een verantwoorde belangenafweging heeft kunnen plaatsvinden.

* Bij het ter perse gaan kan als aanvullende informatie worden gegeven, dat intussen het ontwerp-structuurschema officieel door de Regering is gepubliceerd en ter visie is gelegd. In aansluiting daarop heeft de Raad van Advies voor de Ruimtelijke Ordening een drietal hoorzittingen gehouden en op grond van zowel de mondelinge als schriftelijke meningsuitingen een concept eindadvies gesteld, dat in een openbare vergadering van de Raad op 25 september 1974 is besproken. De Regering zal met kennisneming van de publieke discussie, de ingekomen meningen en het advies van de Raad van Advies voor de Ruimtelijke Ordening en na voorbereiding door de Raad van de Ruimtelijke Ordening uit de Ministerraad over de definitieve vorm van het structuurschema beslissen.

2. OPBOUW STRUCTUURSCHEMA

Het structuurschema is inclusief bijlagen een rapport van zo'n kleine 100 bladzijden en onderverdeeld in 5 hoofdstukken.

In het *eerste* hoofdstuk worden in hoofdzaak de strekking en kenmerken van het structuurschema behandeld, alsmede de voorstudies die hieraan ten grondslag liggen.

Het *tweede* hoofdstuk handelt over de waterbehoeften van bevolking en industrie en geeft een prognose van het waterverbruik in 2000. De ontwikkeling van het waterverbruik vertoont nauwe relatie met de wijze waarop onze maatschappij zich in de toekomst zal ontwikkelen en de eisen die van daaruit aan de openbare watervoorziening worden gesteld. De inzichten hieromtrent lopen nogal eens uiteen, hetgeen tot sterk afwijkende prognoses van de waterbehoeften kan leiden. Niemand kan met zekerheid zeggen hoe over 10, 20 of 30 jaren de feitelijke toestand er zal uitzien. Niettemin moet hierop thans worden vooruitgelopen en zal door verdere studie en het nauwlettend volgen en analyseren van recente ontwikkelingen in het waterverbruik, van een voortdurende bijsturing van de prognose van de waterbehoeften sprake moeten zijn.

Het *derde* hoofdstuk gaat in op de bronnen van watervoorziening, met name het gebruik van zoet grondwater, zoet oppervlaktewater en zout en brak water. Het kwantitatieve en kwalitatieve voorkomen van de ruwe grondstof wordt behandeld, alsmede de zuiveringstechnieken nodig om een verantwoord eindproduct, drinkwater, te kunnen maken. Hierop zal nog nader worden teruggekomen als het gaat om de infrastructurele werken voor de watervoorziening.

In het *vierde* hoofdstuk, één van de belangrijkste hoofdstukken van het hele structuurschema, wordt het beleid van de Regering geformuleerd. Tegen de achtergrond van de hedendaagse drinkwaterproblematiek — voortvloeiende uit een confrontatie van waterbehoeften en bronnen — wordt de doelstelling van de openbare watervoorziening geformuleerd in de meest ruime zin van het woord. Niet alleen de eisen van betrouwbaarheid en goede kwaliteit worden gememoreerd, maar ook aan de sociale, economische, ruimtelijke en milieuhygiënische aspecten verbonden aan de openbare watervoorziening wordt aandacht besteed. Aparte aandacht wordt besteed aan de internationale aspecten van Rijn en Maas.

In de vorm van een 17-tal conclusies worden richtlijnen voor het beleid aangegeven, op grond waarvan een planning van de toekomstige infrastructurele werken van de watervoorziening is opgezet. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen harde en minder harde elementen van het structuurschema.

Tot de meer harde elementen behoren de bestaande werken, de in uitvoering zijnde werken, alsmede de projecten ten aanzien waarvan reeds een bepaalde belangenafweging heeft plaatsgevonden en reserveringen zijn getroffen. Het betreft hier veelal de werken die op korte termijn in de waterbehoeften moeten voorzien.

Tot de minder harde elementen zijn de projekten te rekenen, waarvoor nog veel onderzoek moet worden verricht en een belangenafweging nog moet plaatsvinden. Opneming in de infrastructuur is dan meestal geschied op grond van planologische, waterhuishoudkundige dan wel geohydrologische redenen.

Het totaal van de infrastructurele werken — de totale produktiecapaciteit — is ruimer opgezet dan volgens de prognose van de waterbehoefte strikt nodig is. Dit is met opzet gedaan. Immers zoals reeds eerder gezegd, zijn bij de realisering van de werken ook andere belangen dan die van de drinkwatervoorziening gemoeid. Pas na een gedegen doch tijdige belangenafweging via vastgestelde overlegprocedures bestaat zekerheid omtrent de omvang, vorm en mogelijke produktiecapaciteit van de in de planning opgenomen projekten. Juist om deze speelruimte voor overleg tussen de verschillende belangengroeperingen te kunnen bieden en bij de planning de nodige flexibiliteit te kunnen betrachten, dient een zekere overdimensionering aan werken te worden nagestreefd.

Er is echter nog een andere reden waarom die flexibiliteit zo noodzakelijk is. De keuze van de in de planning opgenomen werken wordt bepaald door tal van factoren, zoals de ligging ten opzichte van de aanvoerweg van water, de ligging t.o.v. het voorzieningsgebied, de planologische inpasbaarheid en last but not least de geohydrologische gesteldheid van de ondergrond. De keuze is veelal gebaseerd op een globaal vóóronderzoek; latere meer uitgebreide onderzoekingen kunnen aanleiding zijn de mening te herzien, waardoor bepaalde werken niet of slechts ten dele blijken te kunnen worden gerealiseerd. Zo is onder meer de grondwaterwinning geen vast gegeven. De planning moet hierin voorzien.

Thans wordt volstaan met op te merken dat de gezamenlijke werken van het structuurschema een produktiecapaciteit omvat van 4800—5800 miljoen m³/jaar bij een verwachte waterbehoefte van 4000 miljoen m³/jaar aan het eind van deze eeuw. Het aandeel van de grondwaterwinning is hierbij voorshands gesteld op 1,9 miljard m³/jaar, terwijl als belangrijke werken van oppervlaktewaterwinning zijn aan te merken: het spaarbekkenprojekt de Brabantse Biesbosch, het spaarbekken IJsselmeer, de duininfiltratie en de infiltratie van oppervlaktewater in de Veluwe. In het structuurschema is nog geen belangrijke plaats ingeruimd voor nieuwe zuiveringstechnieken, zoals omgekeerde osmose. De toepassing ervan op technische schaal is in ontwikkeling, maar leidt vooralsnog tot te hoge kosten. De totale investeringen van de nieuwe werken (exclusief distributie) om in de waterbehoefte tot 2000 te kunnen voorzien, zijn ruwweg te ramen op 5 miljard gulden.

Tenslotte hoofdstuk *vijf* van het structuurschema. Hierin worden de procedures aangegeven, verbonden aan de vaststelling van het structuurschema en de eerder genoemde tienjarenplannen en wettelijke basisplannen. Planning alleen is niet voldoende; er dienen ook waarborgen te zijn dat de in de planning opgenomen werken in de toekomst kunnen worden uitgevoerd. Anderzijds moet inspraak geregeld zijn

en moeten nieuwe ontwikkelingen kunnen worden ingepast. Een voortdurende bezinning en bijsturing van plannen is nodig. Vastgestelde overlegprocedures moeten hierin voorzien en deze mogelijkheden openhouden. Er dient naar te worden gestreefd de duur van de overlegprocedures zoveel mogelijk te beperken, opdat tijdig een beslissing over de uit te voeren werken kan worden genomen. Te lange overlegprocedures maken, dat aan het doel van de planning wordt voorbijgegaan.

3. GEOHYDROLOGISCH ONDERZOEK IN HET KADER VAN HET STRUCTUURSCHEMA

Tot zo ver het structuurschema in zijn algemeenheid besproken; thans is het interessant na te gaan welke relatie er bestaat tussen het hydrologisch en geohydrologisch onderzoek binnen Nederland en het structuurschema drink- en industriewatervoorziening.

Deze relatie moet worden gezocht indien het gaat om de bronnen van watervoorziening, te weten het grondwater en het zoete oppervlaktewater én de werken nodig om gebruik makende van deze bronnen een verantwoorde kwaliteit drinkwater te maken. De sprekers na mij zullen in detail de verschillende facetten van het geohydrologisch onderzoek belichten; ik zal trachten een algemeen overzicht te schetsen, waarbinnen deze onderzoekingen kunnen worden geplaatst.

In het algemeen kunnen 2 fasen in het geohydrologisch onderzoek ten behoeve van de drink- en industriewatervoorziening worden onderscheiden.

De *eerste* fase betreft het globale vooronderzoek, voldoende nauwkeurig om een verantwoorde reservering van de werken en opnemings in de planning mogelijk te maken.

De *tweede* fase betreft een gedetailleerd geohydrologisch onderzoek, wanneer het om de concrete uitvoering van de werken gaat.

Voor het structuurschema is vooral de eerste fase van belang, bij het tienjarenplan en met name bij de wettelijke basisplannen ligt het accent bij de tweede fase van het onderzoek. Aparte vermelding verdient het meer fundamentele en toegepaste spoorwerk.

3.1 *Het grondwater*

Het grondwater vormt vanouds de grondstof voor onze drinkwatervoorziening. Vroeger leverde de winning van grondwater weinig problemen op. Het was voornamelijk een kwestie van techniek. Het boren van enige grondwaterputten, het oppompen en de simpele zuivering vormde doorgaans weinig problemen. De toenemende grondwaterwinning bleef echter niet zonder gevolgen. Landbouw en landschap begonnen in sommige gevallen hinder te ondervinden van de groter wordende grondwaterstands dalingen. Andere belangen komen nu in het geding en het wordt duidelijk dat aan de winning van grondwater grenzen zijn verbonden.

Waar echter deze grenzen te leggen?

De één schermt met de goede kwaliteit van het grondwater en de relatief lage kosten van winning en bereiding van drinkwater en dringt aan op maximale winning. De andere wijst op aangetoonde dan wel vermeende schade toegebracht door de grondwaterwinning, eist stopzetting en verwijst direkt naar alternatieven, als het oppervlaktewater. Kortom er ontstaat een "touwtrekken" om de winning van het grondwater.

Dan blijkt het belang van het hydrologisch en geohydrologisch onderzoek. Zij vormt de grondslag, de basis, waarop belangrijke beslissingen moeten worden genomen. Het tekort aan geohydrologische gegevens wordt gevoeld; grondwaterstandsmetingen, boorgegevens, doorlatendheden, grondwaterkaarten, relaties met beek- en rivierafvoeren zijn nodig, alsmede nieuwe en verfijnde rekentechnieken (optimaliseringsmodellen) moeten worden ontwikkeld.

In het structuurschema wordt voorshands uitgegaan van een beschikbare hoeveelheid grondwater voor de drink- en industriewatervoorziening (inclusief eigen winning industrie) van 1900 miljoen m³ per jaar. Deze raming berust op voorlopige studies van het RID, waarbij zoveel mogelijk rekening is gehouden met de ervaringen die in de CoGroWa (Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven) in het verleden zijn opgedaan met de verlening van vergunningen voor de wateronttrekking door waterleidingbedrijven. Ten opzichte van vandaag zou dan nog ruimte zijn voor een uitbreiding van de grondwaterwinning met zo'n 700 miljoen m³/jaar. Een uitbreiding die men zich gespreid in de tijd moet voorstellen.

Men is wel eens van mening dat eerst de laatste druppel grondwater moet worden gewonnen, alvorens tot de inschakeling van oppervlaktewater kan worden overgegaan. Een dergelijke handelwijze zou alleen verantwoord zijn, indien men in het koffiedik kon kijken en men precies wist hoe de toekomstige waterbehoefte zich zou ontwikkelen en als men reeds ver van te voren het resultaat van het optimaliseringsonderzoek, de beschikbare hoeveelheid grondwater, kon voorspellen. Een parallelle ontwikkeling van beide methoden van watervoorziening is echter te prefereren. Het element van verrassing, optredend bij een onverwacht snelle stijging van de waterbehoefte, bijvoorbeeld veroorzaakt door een plotselinge industrievestiging, behoeft dan geen probleem te zijn.

Een afweging van belangen vindt meestal plaats op grond van de bestaande inzichten en denkbeelden. Het is zeer goed mogelijk dat over een aantal jaren de inzichten (waarde-oordeel) compleet veranderd zijn. Zou bijvoorbeeld de watervervuiling onrustbarende vormen aannemen, dan zal het belang van het grondwater voor de openbare watervoorziening steeds zwaarder gaan wegen; omgekeerd zal bij een beheersing van de kwaliteit van het oppervlaktewater en een voortschrijdende

ontwikkeling van nieuwe zuiveringstechnieken dit belang minder accent behoeven te krijgen.

Wat ik hiermee wil benadrukken, is dat de beslissing hoeveel grondwater in de toekomst kan worden gewonnen altijd een voorlopig karakter zal behouden. Afhankelijk van de omstandigheden moet herziening en aanpassing mogelijk zijn. Dit betekent dat ten aanzien van het hydrologisch onderzoek een steeds grotere verfijning moet worden nagestreefd om de gevolgen van een bepaalde onttrekking te kunnen overzien en een verantwoorde belangenafweging mogelijk te maken. Wat dat betreft staan we nog aan het begin van een lange weg.

Een van degenen die direkt belang heeft bij de onttrekking van grondwater is de landbouw. Het is duidelijk, dat we er met een simpele schadevergoeding aan de boer voor de derving aan gewasopbrengsten niet zijn. Plaatselijk kan dit tot een bevredigende oplossing van het probleem leiden, maar toegepast als algemeen principe voor het hele land zou toch wel te ver voeren. In het kader van het Hydrologisch Onderzoek Overijssel en het Onderzoek Waterhuishouding Gelderland worden deze problemen bestudeerd.

Alvorens van het grondwater over te stappen naar het oppervlaktewater, rest mij nog op te merken dat tot nu toe steeds gesproken is over de winning van het zoete grondwater. Afhankelijk van de ontwikkelingen op het gebied van de ontzouting is het zeer wel mogelijk dat in de toekomst ook het geohydrologisch onderzoek naar het vóórkomen van zout en brak grondwater meer in de belangstelling zal komen.

Tenslotte dient nog het geohydrologisch onderzoek te worden vermeld dat wordt verricht m.b.t. de bescherming van het grondwater tegen de verontreiniging door de opslag van afvalstoffen.

3.2 *Het oppervlaktewater*

Het oppervlaktewater wordt door velen gezien als een van het grondwater afhankelijke bron en zover het in de kraam te pas komt, een prachtig alternatief voor grondwaterwinning. Wèl, grondwaterwinning en oppervlaktewaterwinning zijn nauw met elkaar verbonden, zeker als het om een gecombineerde winning gaat.

Aan het gebruik van zoet oppervlaktewater is onverbrekelijk de eis van voorraadvorming verbonden, alleen reeds uit een oogpunt van calamiteiten. Daarnaast is voorraadvorming nodig uit een oogpunt van kwantiteit en kwaliteit. Op de factoren die deze voorraadvorming beïnvloeden zal thans niet verder worden ingegaan.

De belangrijkste werken van voorraadvorming zijn kunstmatige infiltratie en spaarbekkens. De mogelijkheid tot uitvoering van deze werken staat of valt in eerste instantie met de resultaten van het geohydrologisch onderzoek. De werken opgenomen in het structuurschema, en zeker de minder harde elementen ervan, behoeven in de meeste gevallen nog een uitgebreid geohydrologisch onderzoek. De wenselijk-

heid om in dit opzicht een zekere flexibiliteit in de planning in te bouwen door een zekere overdimensionering van de produktiecapaciteit, is reeds eerder vermeld.

Een andere methode van waterwinning is de winning van oevergrondwater. Het betreft hier in feite een versterkte grondwaterwinning langs open wateren, waarbij een niet onbelangrijk deel van het onttrokken water afkomstig is van water uit de rivier dat via de ondergrond is toegestroomd. Vroeger werd aan deze methode van waterwinning een belangrijke rol toegeedeeld, thans is hiervoor slechts een bescheiden plaats in het structuurschema ingeruimd. De belangrijkste reden hiervoor is de toegenomen verslechtering van de kwaliteit van het oppervlaktewater en de onbekendheid met de mogelijkheden van toepassing. Het verdient zeker aanbeveling om het geohydrologisch onderzoek dienaangaande voort te zetten.

3.3 *De waterhuishouding*

De waterhuishouding vormt één van de meest wezenlijke onderdelen van het structuurschema. Immers het gezicht van de toekomstige drink- en industriewatervoorziening wordt volledig bepaald door de mate, en de kwaliteit waarin de grondstof voor de bereiding van het drink- en industriewater, te weten het grond- en oppervlaktewater, ter beschikking wordt gesteld. Indien de grondwaterwinning problemen oplevert, is oppervlaktewater al gauw het alternatief. Bij het oppervlaktewater aanbeland, blijkt men niet de enige belanghebbende te zijn en noodzaken kwantiteit en kwaliteit tot de aanleg van omvangrijke werken.

Het is duidelijk dat voor een optimale belangenafweging de beide aspecten grond- en oppervlaktewaterwinning in onderlinge relatie dienen te worden gezien. De behoefte aan hydrologische modellen voor zowel het grond- als oppervlaktewaterbeheer wordt dan ook sterk gevoeld en zal in de toekomst alleen maar sterker worden.

3.4 *De organisatie van het onderzoek*

Tot zover het hydrologisch onderzoek in relatie tot het structuurschema drink- en industriewatervoorziening. Dan nog enige korte opmerkingen ten aanzien van de organisatie van het hydrologisch onderzoek binnen Nederland. Om een doelmatig hydrologisch onderzoek binnen Nederland te bevorderen is opgericht de Stuurgroep Coördinatie Geohydrologisch Onderzoek. Deel hiervan maken uit: Rijkswaterstaat, de Rijks Geologische Dienst, het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, de Dienst Grondwaterverkenning TNO en het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening. Een belangrijke coördinatie van werkzaamheden kon worden gerealiseerd. Het is echter een eerste stap om tot een betere opzet van het geohydrologisch onderzoek binnen Nederland te komen. In dit opzicht verdienen de conclusies en aanbevelingen van de in 1970 gehouden enquête TNO alle aandacht.

Meneer de voorzitter, ik ben hiermede gekomen aan het eind van mijn voordracht. Een half uur is te kort om de problematiek van de drink- en industriewatervoorziening in al zijn facetten te kunnen belichten. Naar ik hoop is voldoende naar voren gekomen, welke belangrijke plaats het geohydrologisch onderzoek binnen het structuurschema inneemt en hoeveel onderzoek er op dit gebied in de toekomst nog moet gebeuren.

II. REGIONAAL GEOHYDROLOGISCH ONDERZOEK

E. ROMIJN

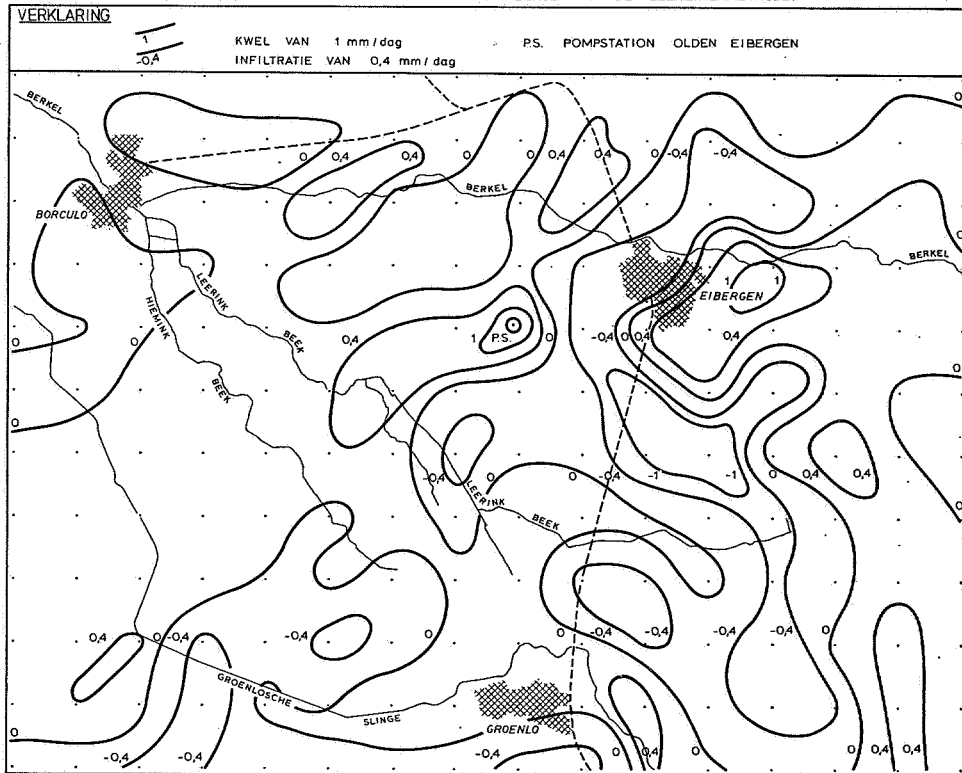
Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening

SUMMARY

REGIONAL HYDROGEOLOGICAL SURVEY

A review of the objectives and the methods used with respect to the geohydrologic research of the Government Institute for Water Supply concerning the development of ground-water resources is given.

FIGUUR 1. BEREKENING VAN KWEL - UIT HET ISOHYPSENBEELD MET BEHULP VAN DE ELEMENTENMETHODE.



These studies have resulted in a preliminary estimate of the feasible ground-water abstraction in the 11 provinces. Nowadays several institutes and services are parti-

icipating in the regional geohydrologic research and integrated studies are being carried out. Modern mathematical techniques are applied as well.

Some recommendations for future research as to ground-water resources are included.

1. DOELSTELLING VAN HET REGIONAAL GEOHYDROLOGISCH ONDERZOEK

Als doelstelling van het regionale geohydrologische onderzoek, zoals dit thans door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening wordt uitgevoerd, kan in het kort worden opgegeven: de berekening van de hoeveelheid zoet grondwater die gewonnen kan worden ten behoeve van bevolking en industrie, waarbij de aan deze winning verbonden voor- en nadelen voor andere belangen zoals bijvoorbeeld die van de landbouw, de afwatering en het natuurbehoud mede in de beschouwing dienen te worden betrokken. Hierbij dient vermeld te worden dat met betrekking tot de gevolgen van de grondwaterwinning voor andere belangen tot nu toe vooral de ervaring, opgedaan binnen de Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven (CoGroWa), doorslaggevend is geweest.

Alhoewel reeds vanaf de oprichting van het Rijksinstituut in 1913 regionaal geohydrologisch onderzoek werd verricht ten behoeve van streekwaterleidingbedrijven (rapport Friesland, 1919; rapport Zuid-Limburg, 1941) of gemeentelijke bedrijven (rapport van de Veluwe Commissie, 1933) is het onderzoek vooral in de zestiger jaren ten behoeve van de planning van de toekomstige drinkwatervoorziening op gang gekomen.

2. WIJZE VAN UITVOERING VAN HET REGIONAAL ONDERZOEK

Het regionale onderzoek is niet volgens een vast patroon uitgevoerd; oorzaak hiervan was de van gebied tot gebied verschillende organisatie van het onderzoek en het verschil in kwaliteit van de beschikbare gegevens. In logische volgorde zou het onderzoek ongeveer aldus verlopen:

- inventarisatie van aanwezige gegevens,
- aanvullend geohydrologisch onderzoek in verband met “witte plekken” op de kaart,
- opstellen van een waterbalans,
- ontwerpen van een hydrologisch model,
- berekening van de gevolgen van wateronttrekking,
- keuze van de meest gunstige ligging van waterwinningen in verband met de te verwachten gevolgen voor de omgeving, de bescherming van de winplaats etc.;
- bepaling van de acceptabele hoeveelheid winbaar grondwater.

Het is duidelijk, dat de bepaling van de "acceptabele" grondwaterwinning slechts in overleg met andere belangengroepen en tenslotte in de beleids sfeer kan geschieden. Het hydrologische onderzoek zal echter de basisgegevens voor het beleid dienen te verschaffen. De basisgegevens zullen voldoende moeten zijn om tot opstelling van een model — hoe eenvoudig ook — te kunnen geraken.

Daar het de bedoeling is vooral de nieuwe aspecten van het onderzoek te presenteren, zal het onderzoek uit de zestiger jaren slechts kort de revue passeren. Over het algemeen werd getracht om met behulp van overgedragen lysimetergegevens of van beekafvoercijfers een waterbalans op te stellen voor een hydrologische eenheid, rekening houdend met ondergrondse afstroming en kunstmatige onttrekking, waarbij in wezen werd uitgegaan van een bestaande evenwichtssituatie (balans). Om de gevolgen van een vergrootte grondwateronttrekking te kunnen becijferen, werd gezocht naar een relatie (bijvoorbeeld statistisch) tussen afvoer van het neerslagoverschot (in waterleidingstermen: nuttige neerslag) en de grondwaterstand. Een vergroting van de grondwateronttrekking zal immers een vermindering van de afvoer van het neerslagoverschot en een daling van de grondwaterstand ten gevolge hebben. Meestal werd ervan uitgegaan dat een algemene grondwaterstands daling in het Oosten en Zuiden des lands van één à twee decimeter "acceptabel" is. Een nadere uiteenzetting van de methode kan men vinden in het artikel van Visscher (1970).

In onderstaande tabel 1. volgen de resultaten van het onderzoek uit de zestiger jaren. Deze resultaten hebben gediend als basis voor het structuurschema voor de toekomstige drink- en industriewatervoorziening. In de tabel zijn ook resultaten van studies opgenomen, welke niet door het Rijksinstituut zijn uitgevoerd, doch wel van invloed zijn geweest op de samenstelling van het structuurschema.

In de tabel zijn in de kolom "methode" vier rekenwijzen aangeduid. Onder de "waterbalans"-methode wordt de bovenvermelde werkwijze, beschreven in het artikel van Visscher (1970), verstaan. Onder "potentiaaltheorie" wordt verstaan een rekenwijze waarbij de verlaging van de grondwaterstand berekend is door de grondwaterwinning als punt-onttrekking voor te stellen in het tot een tweedimensionaal stromingsvlak geschematiseerde grondwaterregime, waarin alleen horizontale stroming optreedt. Onder "raming van W" wordt verstaan een ervaringscijfer inzake een winbare hoeveelheid grondwater, uitgedrukt in mm/jaar over een gegeven oppervlakte. Vaak werd voor dit cijfer éénderde van het neerslagoverschot genomen. Tenslotte werd voor gebieden waar alleen onder grote bezwaren voor de omgeving of risico's voor de waterkwaliteit nog een vergroting van de grondwaterwinning mogelijk wordt geacht, of uitbreiding van de winning niet meer mogelijk is, in de kolom het woord "maximum" genoteerd.

In een aantal gevallen is geen waterbalans samengesteld. Voor het neerslagoverschot N is in dit geval gekozen de neerslag minus de potentiële verdamping van na-

bijgelegen stations, waarvoor volgens Makkink (1959) $0,65 E_0$ is berekend.

Uit het onderzoek blijkt voorshands dat in een aantal gebieden de geraamde maximaal winbare hoeveelheid reeds wordt onttrokken: in het gebied Haren-Onnen-de Punt (200 mm/j), in het oostelijk deel van de Utrechtse Heuvelrug (120 mm/j), in het Gooi (210 mm/j) en in de duingebieden (Noord-Holland 255 mm/j, Zuid-Holland 180 mm/j). In het gebied van de Boven-Regge, in West-Brabant en in het Zuid-Limburgs krijtgebied wordt met een winbare hoeveelheid van resp. 130 mm/j, 140 mm/j en 175 mm/j blijkens de thans reeds optredende problemen zeker de uiterste grens bereikt. Voor de kwelgebieden van Overijssel, Utrecht en Gelderland en voor de Alblasserwaard zijn eveneens hoge potentiële winningscijfers berekend, resp. 120 mm/j, 130 mm/j, 115 mm/j en 116 mm/j. In alle overige gebieden bedraagt het cijfer van de mogelijke grondwaterwinning 100 mm/j of minder.

Om tot een bedrag voor het winbare grondwater voor geheel Nederland te geraken, dienen ook nog de bedragen welke voor de niet in de tabel opgenomen gebieden zijn geraamd, te worden meegeteld. Men komt dan tot de opstelling van tabel 2. Hierbij is rekening gehouden met de mogelijkheid dat het door de industrie in Noord-Holland en Groningen onttrokken zoete grondwater van mindere kwaliteit is, terwijl van de winbare hoeveelheid grondwater à $140 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$ uit Utrecht is afgetrokken het kwelwater van de Bethunepolder dat door de gemeente Amsterdam tot drinkwater wordt gezuiverd.

Tenslotte moet vermeld worden dat in Overijssel $30 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$ en in Noord-Brabant $25 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$ voor landbouwdoeleinden, zoals beregening, is gereserveerd. Van feitelijke beregeningscijfers is weinig bekend, voor Midden- en Noord-Limburg werd in 1965 $2,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ opgegeven, voor Overijssel werd de beregening in 1971 geraamd op $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ en voor Drente in 1971 op $0,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

3. VERRUIMDE OPZET VAN HET HUIDIGE REGIONALE GEOHYDROLOGISCHE ONDERZOEK

Het huidige regionale geohydrologische onderzoek heeft zowel in organisatorische als in wetenschappelijke zin een ruimere opzet gekregen. Eind 1970 is de permanente samenwerking tot stand gekomen inzake regionaal geohydrologisch onderzoek tussen het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, de Rijkswaterstaat, de Rijks Geologische Dienst, het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding en de Dienst Grondwaterverkenning TNO. Voor een aantal regio's konden samenwerkingsgroepen worden opgericht, in aanvulling op reeds bestaande studiegroepen. Aldus wordt thans het grondwaterprobleem bestudeerd in Zuidoost-Groningen, Drente, Salland, Oost-Gelderland, de Gelderse Vallei, Utrecht, Oost- en Midden-Brabant, Noord- en Midden-Limburg en de Zuidelijke IJsselmeerpolders.

In wetenschappelijke zin is het onderzoek geëvolueerd tot het verkrijgen van meer

inzicht in de hydrologie van een gebied en het opstellen van meer verfijnde rekenmodellen. In het bijzonder fungeren de studies inzake Salland en Oost-Gelderland als model voor het toekomstige onderzoek. Over het onderzoek in Salland werd reeds gerapporteerd tijdens de TNO-bijeenkomst van maart 1972.

4. NIEUWE ONDERZOEKSMETHODEN, BEREKENINGSWIJZEN EN HUN RESULTATEN

In het kader van deze uiteenzetting is het interessant te vermelden welke nieuwe onderzoeksmethoden en berekeningswijzen worden toegepast en welke resultaten deze hebben opgeleverd.

4.1 *Geohydrologisch onderzoek*

Het "boren naar water" heeft een groot aantal gegevens opgeleverd, die geologisch konden worden bewerkt. Tevens konden geofysische metingen in boorgaten en aan de oppervlakte (voornamelijk geo-electrisch onderzoek) de geohydrologische kennis vergroten. De voornaamste resultaten zijn wel dat de grens tussen zoet en zout grondwater in grote delen van Nederland beter kon worden vastgesteld, terwijl de geohydrologische opbouw veelal ingewikkelder bleek te zijn dan vroeger werd verondersteld. Vrijwel altijd moet gerekend worden met meer dan één watervoerend pakket, terwijl de structuur van de tijdens de ijstijd gestuwde gebieden en van grote breukzônes zoals langs de Peelrand, geologisch en hydrologisch gecompliceerd is.

Het onderzoek naar de chemische samenstelling van het grondwater heeft het inzicht in het ontstaan en de verdere geschiedenis van dit water vergroot.

Een meer gedetailleerd overzicht van het veldonderzoek is gegeven in de Verhandelingen van het Kon. Ned. Geologisch Mijnbouwkundig Genootschap, 29, (1973).

4.2 *Berekeningsmethoden*

In paragraaf 2 werd vermeld dat in wezen twee berekeningsmethoden waren toegepast, n.l. de waterbalansmethode en die met behulp van de potentiaaltheorie.

De waterbalansmethode is in een andere en zeer verfijnde vorm toegepast bij het Salland-onderzoek, dit als vervolg op de reeds eerder door Visser en Bloemen (Water Balance Studies, 1966) opgezette rekenmodellen. Daar hierover reeds eerder voor de Commissie Hydrologisch Onderzoek TNO is gerapporteerd, wordt in deze uiteenzetting hierop niet verder ingegaan.

Bij de toepassing van de potentiaaltheorie wordt getracht voor diverse begin- en

randvoorwaarden de differentiaalvergelijking voor horizontale stroming in de met water verzadigde bodem op te lossen. Deze luidt:

$$KH\nabla^2\phi = S \frac{\partial\phi}{\partial t} + Q. \quad (1)$$

Hierbij is ϕ de potentiaal of stijghoogte van het grondwater in het desbetreffende watervoerende pakket met dikte H , $\frac{\partial(\phi S)}{\partial t}$ is de verandering in de geborgen hoeveelheid water over de dikte H , terwijl met Q de aan- of afvoer naar of van het pakket is aangegeven.

De "bodemconstanten" KH (transmissiviteit) en S (bergingsfactor) kunnen van plaats tot plaats verschillen, terwijl de doorlaatfactor $K[l t^{-1}]$ richtingsafhankelijk kan zijn (anisotropie).

Tenslotte is bij het voorkomen van verschillende vloeistoffen, bijvoorbeeld zoet en zout grondwater, K niet meer constant: $K = \frac{k\gamma}{\eta}$, k = permeabiliteit [l^2], η = dynamische viscositeit van de vloeistof [$ml^{-1}t^{-1}$] en γ = soortelijk gewicht van de vloeistof [$ml^{-2}t^{-2}$].

Bij de uitwerking van vergelijking (1) zijn de grootste problemen de verwerking van een tijdsafhankelijke K in verband met de stroming van zoet en zout grondwater en de in- of uitvoer Q welke in relatie moet worden gebracht met de stroming in de onverzadigde zône (capillaire opstijging of infiltratie naar het grondwater) of met drainage naar of infiltratie vanuit oppervlaktewateren. Deze koppeling van de hydrologische systemen voor grondwater, oppervlaktewater en onverzadigde bodemzône is één der opgaven voor het onderzoek in Oost-Gelderland. Zoals vermeld werd, is in het pakket H slechts rekening gehouden met horizontale stroming, zodat alleen zijdelingse toestroming van bijvoorbeeld zout water kan worden berekend en dus niet de zogenaamde "upconing" van zout water onder onttrekkingsmiddelen.

Voor een aantal randvoorwaarden zijn analytische oplossingen van vergelijking (1) bekend. Bruggeman geeft in zijn artikel de mogelijkheid aan hierbij gebruik te maken van integraaltransformaties, waardoor vele nieuwe begin- en randvoorwaardeproblemen konden worden opgelost, ook voor niet-homogene bodems.

De toepassing van de computer heeft de numerieke methoden sterk bevorderd. In de eerste plaats is door vervanging van de differentiaalvergelijking (1) door een differentie-vergelijking een directe numerieke oplossingsmethode voorhanden. Deze methode is onder meer toegepast door De Ridder (1972). In de laatste jaren is de numerieke methode van de eindige elementen in de hydrologie toegepast, het eerst door Zienkiewicz (1967). Hierbij wordt op indirecte wijze een oplossing voor ver-

gelijking (1) gezocht, n.l. door de variatieintegraal, welke een functie is van (1), te minimaliseren. Indien deze integraal (I) geschreven wordt als:

$$I[\phi(x, y)] = \iint_R F\left(x, y, \phi, \frac{\partial \phi}{\partial x}, \frac{\partial \phi}{\partial y}\right) dx dy, \quad (2)$$

kan bewezen worden dat de z.g. vergelijking van Euler

$$\frac{\partial F}{\partial \phi} - \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial F}{\partial (\partial \phi / \partial x)} \right] - \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{\partial F}{\partial (\partial \phi / \partial y)} \right] = 0,$$

welke aan dezelfde randvoorwaarden voldoet als vergelijking (2), als voorwaarde nodig en voldoende is voor minimalisatie van vergelijking (2).

Schrijft men bijvoorbeeld vergelijking (2) in de vorm

$$I[\phi] = \iint_R \left\{ \frac{1}{2} \left[K \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + K \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right)^2 \right] + f\phi \right\} dx dy,$$

dan wordt de vergelijking van Euler

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) = f(x, y). \quad (3)$$

Deze vergelijking geldt voor stationaire horizontale grondwaterstroming.

Om de minimalisatie van I te realiseren, kan men het stromingsveld in bijvoorbeeld driehoekige elementen verdelen waarbinnen ϕ rechtlijnig varieert, dus $\phi = Ax + By + C$.

De waarde van ϕ dient dan in de hoekpunten van de elementen zodanig gekozen te worden dat

$$\frac{\partial I}{\partial \phi_m} = 0, \quad m = 1, 2, \dots, n,$$

waarbij n het aantal hoek- of knooppunten der gezamenlijke elementen is. Dit probleem is numeriek op te lossen.

De voordelen van de elementen-methode boven de differentiemethode zijn onder meer de eenvoudige aanpassing van de afmetingen der elementen aan de geohydrologische situatie (kleine elementen waar details vereist zijn), eenvoudige realisering van anisotropie en eenvoudige toepassing van randvoorwaarden, welke bij de differentie methode eerst in differentie-vorm moeten worden overgebracht. Ieder element kan een eigen KH-waarde hebben. Het is verder mogelijk de stijghoogte in

meerlagensystemen waarbij verschillende horizontale watervoerende pakketten door weerstandbiedende lagen — waarbinnen verticale stroming optreedt — worden gescheiden, te berekenen.

Niet-stationaire stroming kan onder meer worden gesimuleerd door de afgeleide naar de tijd te benaderen door een eindige differentie alvorens het variatie-principe wordt ingevoerd, waarna de elementen-methode kan worden toegepast (Verruyt, 1972).

Omgekeerd is het mogelijk om uit gegeven waarden van ϕ (isohypsenkaart) bijvoorbeeld de KH-waarde te berekenen of, indien ϕ en KH bekend zijn, de Q van vergelijking (1). Dit laatste is als proef gedaan voor een gedeelte van Oost-Gelderland, n.l. het gebied nabij het pompstation Olden-Eibergen. Hiertoe werd de isohypsenkaart van 28 augustus 1964 gebruikt, terwijl het neerslagoverschot op 1 mm per dag werd gesteld. Hiermee konden kwel- en infiltratiegebieden worden berekend (zie figuur 1). Opgemerkt dient te worden dat in dit model een kunstmatige ont-trekking (P. S. Olden-Eibergen) ook als "kwel" wordt berekend.

5. PROBLEMATIEK INZAKE DE MOGELIJKE GRONDWATERWINNING t.b.v. DE DRINK- EN INDUSTRIEWATERVOORZIENING

Uit het voorgaande moge blijken dat de problematiek inzake de mogelijke grondwaterwinning ten behoeve van de drink- en industriewatervoorziening driedig is:

- het verkrijgen van de juiste hydrologische gegevens,
- het opstellen van het hydrologische model,
- de afweging van het drinkwaterbelang tegen de belangen van andere grondwaterbenutters zoals landbouw, natuurschoon, enz.

Deze belangenafweging valt buiten het kader van deze uiteenzetting.

Bij het verzamelen der gegevens en bij de opstelling van het hydrologische model zal men zich echter voortdurend moeten afvragen wat het rendement is van dit onderzoek. Een zeer kostbaar onderzoek zou bijvoorbeeld tot resultaat kunnen hebben dat slechts weinig meer grondwater in een gebied onttrokken kan worden.

Indien in de toekomst zou blijken dat nog ca $500 \cdot 10^6$ m³/j extra aan grondwater kan worden gewonnen, betekent deze onttrekking voor de bedrijven een investering voor winning en zuivering — à f 0,70 per m³ — van ca f $350 \cdot 10^6$.

Het onderzoek in Oost-Gelderland is gestart met een budget voor drie jaar van f $1 \cdot 10^6$,—, exclusief personeelskosten der betrokken diensten (ca 20 instellingen zijn bij het onderzoek betrokken!). Dit onderzoek dient zeker méér doeleinden dan alleen grondwaterwinning, anderzijds zal het onderzoek na drie jaar niet tot één-duidige oplossingen zijn gekomen en waren in dit gebied reeds uitvoerige geohydrologische onderzoekingen verricht, zodat veel gegevens reeds aanwezig waren.

Indien in alle landsdelen zo'n onderzoek zou worden ingesteld, dat ca 5 jaren in beslag neemt, dan kunnen de kosten van deze onderzoeken zeker tot 10% van de investering à f 350.10⁶ oplopen, d.w.z. f 7.10⁶ per jaar. In samenhang hiermee kan worden vermeld dat volgens de Enquête Hydrologisch Onderzoek TNO 1970 (1972) de gemiddelde jaarlijkse uitgaven voor hydrologisch onderzoek in Nederland over de afgelopen jaren werden geraamd op f 35,7.10⁶. Binnen het hydrologisch onderzoek in Nederland zou volgens bovenstaande redenering het regionale geo-hydrologische onderzoek een zeer voorname plaats gaan innemen.

In verband hiermede is het van belang enkele aanbevelingen van het rapport inzake de enquête hydrologisch onderzoek 1970 te herhalen:

1. Het (regionale) hydrologisch onderzoek dient gericht te zijn op en te worden gezien in samenhang met de doelstellingen van het waterbeheer.
2. Het (regionale) hydrologisch onderzoek dient voor een groter deel dan tot nu toe in projectvorm te worden uitgevoerd. Dit houdt onder andere in dat voor het onderzoek de benodigde mankracht, tijd en geldmiddelen aanwezig moeten zijn.
3. Het verdient aanbeveling na te gaan of kan worden vastgesteld of een economische evaluatie van het (regionale) hydrologische onderzoek mogelijk is.

LITERATUUR

- BRUGGEMAN, G. A. 1975—Geohydrologisch onderzoek in verband met de bouw van spaarbekkens. *Verslagen Techn. Bijeenk. Comm. Hydrol. Onderz. TNO.*
- Comm. Hydrol. Onderz. TNO,* 1972—Enquête Hydrologisch Onderzoek 1970.
- MAKKINK, G. F. 1959—De verdamping uit vegetaties in verband met de formule van Penman. *Verslagen Techn. Bijeenk. Comm. Hydrol. Onderz. TNO.*
- New aspects of mineral and water resources in the Netherlands. *Verh. KNGMG*, Vol. 29 (1973).
- RIDDER, N. A. de 1972—The use of computers in water resources development and water supply planning. *Geologie en Mijnbouw*, Vol. 51 (1).
- VERRUYT, A. 1972—Solution of transient groundwater flow problems by the finite element method. *Water Resources Research*, Vol. 8 (3).
- VISSCHER, W. 1970—Regionaal geo-hydrologisch onderzoek bij de bepaling van de optimale grondwateronttrekking in een groot stroomgebied. *H₂O* (3).
- Water Balance Studies 1966—*Verslagen Techn. Bijeenk. Comm. Hydrol. Onderz. TNO.*
- ZIENKIEWICZ, O. C. 1967—The finite element method in structural and continuum mechanics. McGraw-Hill.

TABEL 1. Resultaten van het voorlopige regionale onderzoek inzake winbaar zoet grondwater

provincie, gebied, beschouwde oppervlakte	methode	waterbalans			$N_p =$ neerslag (1931-1960) minus potentiële verdamping (= 0,65 E_0)
		periode	R = neerslag	N = neerslag (R) minus reële ver- damping	
<i>Friesland</i>					
(1500 km ²)	raming W	—	—	—	291 (Leeuwarden)
<i>Groningen</i>					
1. Westerkwartier (100 km ²)	raming W	—	—	—	296 (Eelde)
2. Westerwolde (160 km ²)	raming W	—	—	—	idem
3. Haren-Onnen-de Punt (gedeelt. Drente)	maximum	—	—	—	idem
<i>Drente</i>					
1. Plateau (1500 km ² , 3 balansgebieden)	waterbalans	{ 1955-64 1953-62 1953-64	774 798 801	389 346 347	320 (gemid. Eelde- Dedemsvaart)
2. Z.O. Drente (360 km ²)	raming W	—	—	idem	idem
3. Vceengebieden (W, Z en O-Drente, 825 km ²)	raming W	—	—	—	idem
<i>Overijssel</i>					
1. Salland (200 km ²)	waterbalans	1953-65	767	335	343 (Dedemsvaart)
2. Boven Regge (355 km ²)	waterbalans	1943-66	780	387	332 (gemid. Dedemsvaart- Winterswijk)
3. Beneden Regge en Vechtgebied (835 km ²)	raming W	—	—	—	343 (Dedemsvaart)
4. N.W. Overijssel (400 km ²)	raming W	—	—	—	301 (gemid. Dedemsvaart- Lelystad- Leeuwarden)
<i>Gelderland</i>					
1. Oost Gelderland (1250 km ²)	waterbalans	1954-69	822	343	321 (Winterswijk)
2. Gebied Grote Rivieren (1200 km ²)	raming W	—	—	—	274 (Andel)
3. Veluwe (1270 km ²)	waterbalans en potentiaal- theorie	1952-65	863	369	?

W = winbare hoeveelheid grondwater					recente winningscijfers			
W mm/j	W in % van N	W in % van N _p	W m ³ /j	gevolgen van W	1967* water- leiding m ³ /j	1967* industrie m ³ /j	1972 water- leiding m ³ /j industrie m ³ /j
100	—	34	150.10 ⁶	?	24,6.10 ⁶	26,3.10 ⁶	33,7.10 ⁶	
100	—	34	10.10 ⁶	?	0	1,0.10 ⁶	0	
60	—	20	10.10 ⁶	?	0	3,3.10 ⁶	1,7.10 ⁶	
200	—	68	30.10 ⁶	verziltingsgevaar	24,6.10 ⁶	5,8.10 ⁶	23,4.10 ⁶	
80	22	25	120.10 ⁶	daling grondw.st. 10 à 40 cm	19,0.10 ⁶	8,8.10 ⁶	26,5.10 ⁶	1971 10,3.10 ⁶
80	22	25	30.10 ⁶	?	5,6.10 ⁶	3,3.10 ⁶	6,0.10 ⁶	4,4.10 ⁶
60	—	20	50.10 ⁶	?	6,3.10 ⁶	16,9.10 ⁶	8,0.10 ⁶	19,4.10 ⁶
90	27	26	18.10 ⁶	daling grondw.st. 10 cm	1,1.10 ⁶	4,8.10 ⁶	1,6.10 ⁶	1971 4,8.10 ⁶
130	34	39	46.10 ⁶	daling grondw.st. 5 à 25 cm	18,9.10 ⁶	11,9.10 ⁶	22,6.10 ⁶	11,0.10 ⁶
56	—	16	47.10 ⁶	?	10,9.10 ⁶	6,1.10 ⁶	12,8.10 ⁶	11,0.10 ⁶
120	—	40**	48.10 ⁶	vermindering kwel	10,0.10 ⁶	4,7.10 ⁶	10,8.10 ⁶	7,7.10 ⁶
40	12	12	50.10 ⁶	daling grondw.st. 20 cm	12,6.10 ⁶	14,1.10 ⁶	18,0.10 ⁶	1969 15,1.10 ⁶
115	—	42**	140.10 ⁶	vermindering kwel	22,5.10 ⁶	21,6.10 ⁶	27,0.10 ⁶	25,2.10 ⁶
47	13	—	60.10 ⁶	daling grondw.st. aan rand Veluwe 20 cm	18,2.10 ⁶	24,1.10 ⁶	25,5.10 ⁶	25,4.10 ⁶

TABEL 1. (vervolg).

provincie, gebied, beschouwde oppervlakte	methode	waterbalans			$N_p =$ neerslag (1931-1960) minus potentiële verdamping (= 0,65 E_0)
		periode	R = neerslag	N = neerslag (R) minus reële ver- damping	
<i>Utrecht</i>					
1. W. Utrecht (458 km ²)	raming W	—	—	—	340 (De Bilt)
2. Gebied Kromme Rijn (136 km ²)	raming W	—	—	—	idem
3. Heuvelrug (345 km ²)	potentiaal- theorie	—	—	—	idem
<i>Noord-Brabant</i>					
1. West-N.-Brabant (3 balansgebieden, 1075 km ² , deels in België)	waterbalans en potentiaal- theorie	1953-63	{ 765 765 765	{ 273 285 251	273 (Oudenbosch)
2. Midden-N.-Brabant (300 km ²)	raming W	—	—	—	265 (gemid. Gemert- Oudenbosch)
3. Oost-N.-Brabant (3000 km ²)	waterbalans	1953-64	712	225	257 (Gemert)
<i>Limburg</i>					
1. Noord- en Midden Limburg (1100 km ²)	waterbalans	—	—	—	221 (Venlo)
2. Zuid Limburg (Krijtgebied, 240 km ²)	raming W	—	—	—	275 (Beek)
<i>Noord-Holland</i>					
1. Duinen (120 km ²)	maximum	lysi- meters 1943-56	810	200 tot 450 (diverse terreinen)	243 (gemid. Den Helder- Naaldwijk)
2. Gooi (95 km ²)	maximum en potentiaal- theorie	—	—	—	340 (De Bilt)
<i>Zuid-Holland</i>					
1. Duinen (33 km ²)	maximum	—	—	400	265 (Naaldwijk)
2. Alblasserwaard en Vijfherenlanden (389 km ²)	waterbalans	1955-64	805	—	274 (Andel)

* CBS-enquête - 1967

** plaatselijk sterk kwellende gebieden

*** thans kunstmatige infiltratie te Castricum, Leiduin, Katwijk, Scheveningen

W = winbare hoeveelheid grondwater				recente winningscijfers				
W mm/j	W in % van N	W in % van N _p	W m ³ /j	gevolgen van W	1967* water- leiding m ³ /j	1967* industrie m ³ /j	1972 water- leiding m ³ /j industrie m ³ /j
130	—	38**	60.10 ⁶	?	9,8.10 ⁶	3.10 ⁶	19,0.10 ⁶	
60	—	18	8.10 ⁶	?	1,7.10 ⁶	7.10 ⁶	2,3.10 ⁶	
115	—	34	40.10 ⁶	daling grondw.st. 50 cm	30,9.10 ⁶	3.10 ⁶	32,1.10 ⁶	
140	51	51	145.10 ⁶	?	40,2.10 ⁶	13,7.10 ⁶	54,9.10 ⁶	1970 25.10 ⁶
100	—	38	30.10 ⁶	?	11,1.10 ⁶	3,6.10 ⁶	13,7.10 ⁶	
75	33	29	220.10 ⁶	daling grondw.st. 10 à 15 cm	50,8.10 ⁶	62,7.10 ⁶	74,4.10 ⁶	
82	—	37	91.10 ⁶	daling grondw.st. 10 cm	19,0.10 ⁶	25,0.10 ⁶	27,9.10 ⁶	1970 28,2.10 ⁶
175	—	64	42.10 ⁶	?	20,2.10 ⁶	9,0.10 ⁶	22,7.10 ⁶	
255	67	> 100	31.10 ⁶	verdroging,*** verziltig	38,6.10 ⁶	3,9.10 ⁶	27,0.10 ⁶	
210	—	62	20.10 ⁶	daling grondw.st. 50 cm	15,5.10 ⁶	5,6.10 ⁶	15,2.10 ⁶	
180	45	68	6.10 ⁶	verdroging,*** verziltig	13,3.10 ⁶	4,4.10 ⁶	5,3.10 ⁶	
116	—	42**	45.10 ⁶	vermindering kwel	8,7.10 ⁶	4,2.10 ⁶	12,0.10 ⁶	

TABEL 2. *Grondwaterwinning in Nederland in 10⁶ m³ **

provincie	winning 1967 (CBS-enquête)		winning 1971 (VEWIN)	maximaal winbaar zoet grondwater	
	industrie				water- leiding
	zoet	brak/zout			
Groningen	26,3	2,0	24,6	25,7	40
Friesland	13,9	5,2	28,7	33,7	150
Drente	28,9		30,8	40,9	200
Overijssel	29,9		46,6	55,3	150
Gelderland	103,4		67,8	87,7	450
Utrecht	17,6		44,9	55,8	110
Noord Holland	30,3	33,5	57,0	54,4	50
Zuid Holland	30,2	2,2	46,1	59,1	130
Zeeland	0,1	2,5	4,2	4,3	5
Noord Brabant	86,0	0,2	103,7	139,3	395
Limburg	60,6	0,2	41,0	53,2	190
Zuidelijke IJsselmeerpolders	0	0	0,6	1,9	30
Nederland	427,2	45,8	496,0	611,3	1900

* *exclusief infiltratie van rivierwater*

III. AGRO-HYDROLOGISCH ONDERZOEK IN RELATIE TOT HET STRUCTUURSCHEMA VOOR DE TOEKOMSTIGE DRINKWATERVOORZIENING

H. J. COLENBRANDER
Provinciale Waterstaat van Gelderland

SUMMARY

AGRO-HYDROLOGICAL STUDIES RELATED TO THE MASTER PLAN FOR FUTURE WATER SUPPLIES

Many agro-hydrological studies are being conducted in The Netherlands. Only very few of these, however, are being done within the framework of the Master Plan for Future Water Supplies. This is because a conflict of interests has arisen between agriculture and water supplies, or, to put it more precisely, between the interests of agriculture and the extraction of groundwater.

A brief review of the methods that have been developed to quantify yield depressions due to the extraction of groundwater is given in this paper. In the discussion, the emphasis will be placed more on the developments that have taken place in this field than on the theoretical backgrounds of the methods.

Arguments in favour of finding more direct measures to compensate for losses caused by groundwater extraction are presented. If these were to take such forms as the recharge of groundwater, they would avoid the necessity of large sums of money having to be paid out as compensation on an ever-widening scale.

Mention is also made of the fact that it is not only agricultural interests that are endangered, but also those of nature conservation, the landscape, and recreation.

Fortunately, in recent years, more and more people have begun to realize that this conflict of interests must not be allowed to intensify and that what is needed is an overall plan that takes the interests of all parties into consideration. The problems require an integrated approach and this paper concludes with an example of such an approach.

1. INLEIDING

Allereerst moet worden opgemerkt dat in de titel niet staat: "Agrohydrologisch onderzoek in het kader van . . .", maar "in relatie tot het structuurschema van de toekomstige drinkwatervoorziening". Deze formulering is bewust gekozen, omdat

anders zou worden gesuggereerd, dat bepaalde agrohydrologische onderzoeken in de vorm van onderzoeksprojecten of studie-opdrachten ten behoeve van het structuurschema zouden worden uitgevoerd. Dit is niet het geval, althans nóg niet.

Een tweede opmerking vooraf is eveneens noodzakelijk. In de titel staat n.l. ook het woord "Agro-hydrologie", terwijl schrijver dezes op een andere plaats (1) er voor heeft gepleit de hydrologie juist niet onder te verdelen. Meestal is dit weinig zinvol: zo gelden bijvoorbeeld voor de agrohydrologie en de geo-hydrologie dezelfde fysische wetten, worden dikwijls dezelfde berekeningstechnieken en formules toegepast en wordt van dezelfde bodemfysische parameters gebruik gemaakt. Deze feiten pleiten dus bepaald niet voor een onderverdeling. De reden dat het begrip agro-hydrologie toch weer wordt gebruikt is hierin gelegen dat het woord op een vrij directe wijze aangeeft vanuit welke gezichtshoek het onderwerp wordt benaderd.

Hetgeen hierna wordt betoogd heeft geen sterk wetenschappelijk en specialistisch karakter. Slechts zal worden getracht om in kort bestek aan te geven welke onderzoeken in het raakvlak (of moet worden gesproken van: spanningsveld) tussen landbouw en structuurschema voor de drinkwatervoorziening plaatsvinden. Waar liggen deze raakvlakken?

In de eerste plaats natuurlijk in het vlak van de grondwaterwinning en de als gevolg hiervan optredende grondwaterstandsveranderingen en de consequenties die deze weer hebben voor de landbouwproductie.

In de tweede plaats de aanspraken, die de verschillende wijzen van wateropslag voor de drinkwatervoorziening op het landbouwareaal maken. Ik doel hier op de ruimte die nodig is voor de aanleg van spaarbekkens en voor de kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater.

Het derde raakvlak is de hoeveelheid oppervlaktewater die in het kader van het structuurschema voor de drinkwatervoorziening wordt geclaimd. Deze claim kan ten kosten gaan van andere gebruiksmogelijkheden van dit water, met name dus voor de landbouw.

Het vierde raakvlak ligt in de sfeer van de waterkwaliteit. Zo bestaan er beperkingen voor het landbouwkundig gebruik van gronden in de z.g. beschermingszones rondom de winplaatsen van drinkwater. Dit om besmetting van het grondwater te voorkomen. Een ander kwaliteitsaspect, dat speciaal de laatste jaren naar voren komt en dat de gebruiksmogelijkheden van het oppervlaktewater voor de drinkwatervoorziening kan beïnvloeden is de afvalproductie van de veredelingslandbouw. Deze afvallozing heeft zowel gevolgen voor de kwaliteit van het grond- als van het oppervlaktewater.

Het navolgende zal zich voornamelijk richten op de eerste groep van problemen: de gevolgen van de grondwateronttrekking voor de landbouw. Hierbij zal allereerst een blik terug worden geworpen, waarbij zal blijken dat deze terugblik in enkele gevallen nog een verrassend actueel beeld te zien geeft. Verder zal kort worden inge-

gaan op de neveninvloeden van de grondwateronttrekking en op de compenserende maatregelen die in feite een meer bevredigende oplossing leveren voor het probleem van de geleden schade dan een schade-uitkering in geld. Ook zal de andere kant van de medaille worden getoond, dat wil zeggen, dat niet alleen de grondwateronttrekking invloed heeft op de landbouw, maar dat omgekeerd ook de landbouw de grondwateronttrekking beïnvloedt. Maatregelen genomen ten behoeve van de landbouw kunnen n.l. mede de mogelijkheden tot grondwateronttrekking bepalen. De nauwe samenhang tussen open water en grondwater levert dan het opstapje voor het laatste deel van het artikel, waarin — hoewel dit wat buiten het kader van dit artikel valt, maar niet buiten dat van deze artikelenreeks — een enkele opmerking zal worden gemaakt over de integrale aanpak van de landbouwwaterhuishoudkundige problematiek.

2. BESTAANDE BEREKENINGSTECHNIEKEN

De bespreking van de bestaande technieken ter berekening van de landbouwschade in geval van een verlaging van de grondwaterstand zal slechts summier zijn. Immers Kouwe (2) is in een eerdere bijeenkomst van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO reeds uitvoerig op deze materie ingegaan, en naar deze voordracht wil ik dan ook gaarne verwijzen. Bovendien ontbreekt ook de tijd voor een diepgaande analyse van de verschillende technieken.

Waar concentreren zich de problemen op bij het vaststellen van de landbouwschade ten gevolge van grondwateronttrekking? Globaal gesproken laat het probleem zich als volgt onderverdelen:

- het vaststellen van de veranderingen in de grondwaterstandfluctuaties ten gevolge van de onttrekkingen;
- de gevolgen die dit heeft voor de capillaire toelevering van grondwater aan de vegetatie op de verschillende gronden;
- wat zijn de potentiële gewasopbrengsten op de diverse bodemprofielen;
- wat zijn de werkelijke gewasopbrengsten op die bodemprofielen bij een gegeven grondwaterstandverloop, dat al of niet wordt beïnvloed door een kunstmatige grondwateronttrekking; hierbij moet zowel rekening worden gehouden met de droogteschade, als met de gevolgen van wateroverlast (vertrappings- en oogstverliezen);
- tenslotte, wat zijn de financiële gevolgen van de optredende oogstdepressies.

Bij de hierna te bespreken onderzoekingen zullen deze punten ter sprake komen.

Een zeer uitgebreid onderzoek ten aanzien van de relatie tussen grondwaterstand en opbrengst is verricht in het kader van het COLN-onderzoek gedurende de jaren 1952—1956. Uit dit onderzoek stammen de opbrengst-ontwateringsdieptecurven en

ook de "isocarpen", zoals deze in figuur 1 zijn afgebeeld. In dit laatste geval wordt dus niet alleen rekening gehouden met de grondwaterstand in de zomer, maar tevens met die in de winter. Overigens heeft de praktische toepassing van deze isocarpen zich voornamelijk beperkt tot het werk van Snijders (3). Snijders heeft o.a. in het

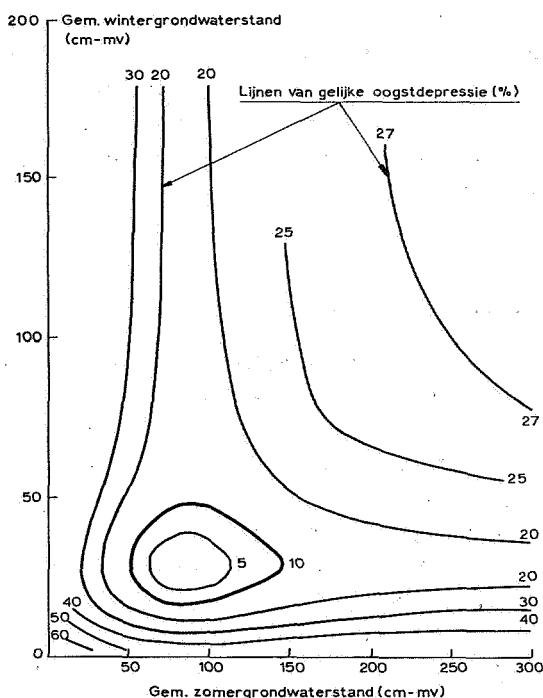


Fig. 1. De oogstdepressies op grasland bij verschillende combinaties van winter- en zomergrondwaterstanden (isocarpen-figuur).

kader van het Leerinkbeekgebied- en het Sallandonderzoek met deze isocarpenfiguren gewerkt. De overige gegevens verkrijgt Snijders meestal uit enquêtes. Hij gaat er hierbij vanuit, dat de gemiddelde boer zich op optimale wijze bij de, op zijn gronden, heersende waterhuishoudkundige toestand zal aanpassen. Snijders presenteert de verzamelde gegevens ondermeer in grafieken, zoals in figuur 2 weergegeven. Hierbij wordt óók gebruik gemaakt van de grondwatertrappen, zoals deze door de Stiboka worden geкартеerd. Met behulp van de isocarpen en een vertaling van de grondwatertrappen in gemiddelde winter- en zomergrondwaterstanden komt Snijders tot bepaalde oogstdepressies. Door vervolgens de netto-opbrengsten te berekenen in guldens per ha kunnen de schadepercentages in geld worden omgerekend. Een voorbeeld hiervan geeft figuur 3, opgesteld voor het waterwingebied Olden-Eibergen. De

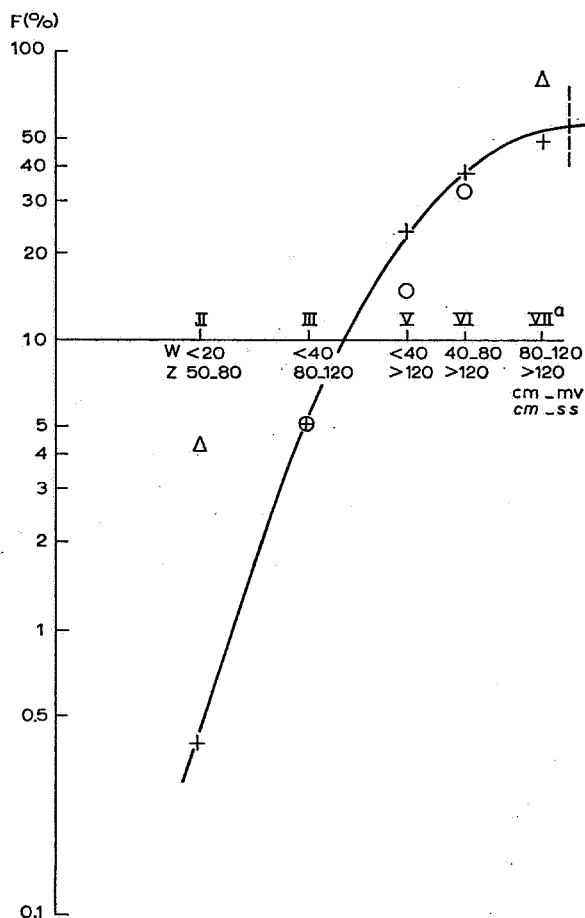


Fig. 2. Frequentie van voorkomen van rogge bij verschillende grondwatertrappen op zandgrond, uitgezonderd de hoge enkeerdgronden.

O = oorspronkelijke frequenties; + = herleid op het voorkomen van andere gewassen; Δ = weinig waarnemingen; w = gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG); z = gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG).

gemiddelde grondwaterstanden, die Snijders bij de verschillende grondwatertrappen aanneemt zijn aan kritiek onderhevig, terwijl men ook kan twijfelen aan de nauwkeurigheid van de beschikbare isocarpes. Hierbij is het opmerkelijk, dat de in de isocarpes vastgelegde relaties nadien niet meer apart zijn bestudeerd, zodat nog van de "oude" gegevens gebruik moet worden gemaakt. Als vervolgens nóg even terug mag worden gegrepen naar een ander relatief "oud" onderzoek in de sfeer van de landbouw-opbrengsten, dan is dat het CI-203 proefplekkenonderzoek dat in de

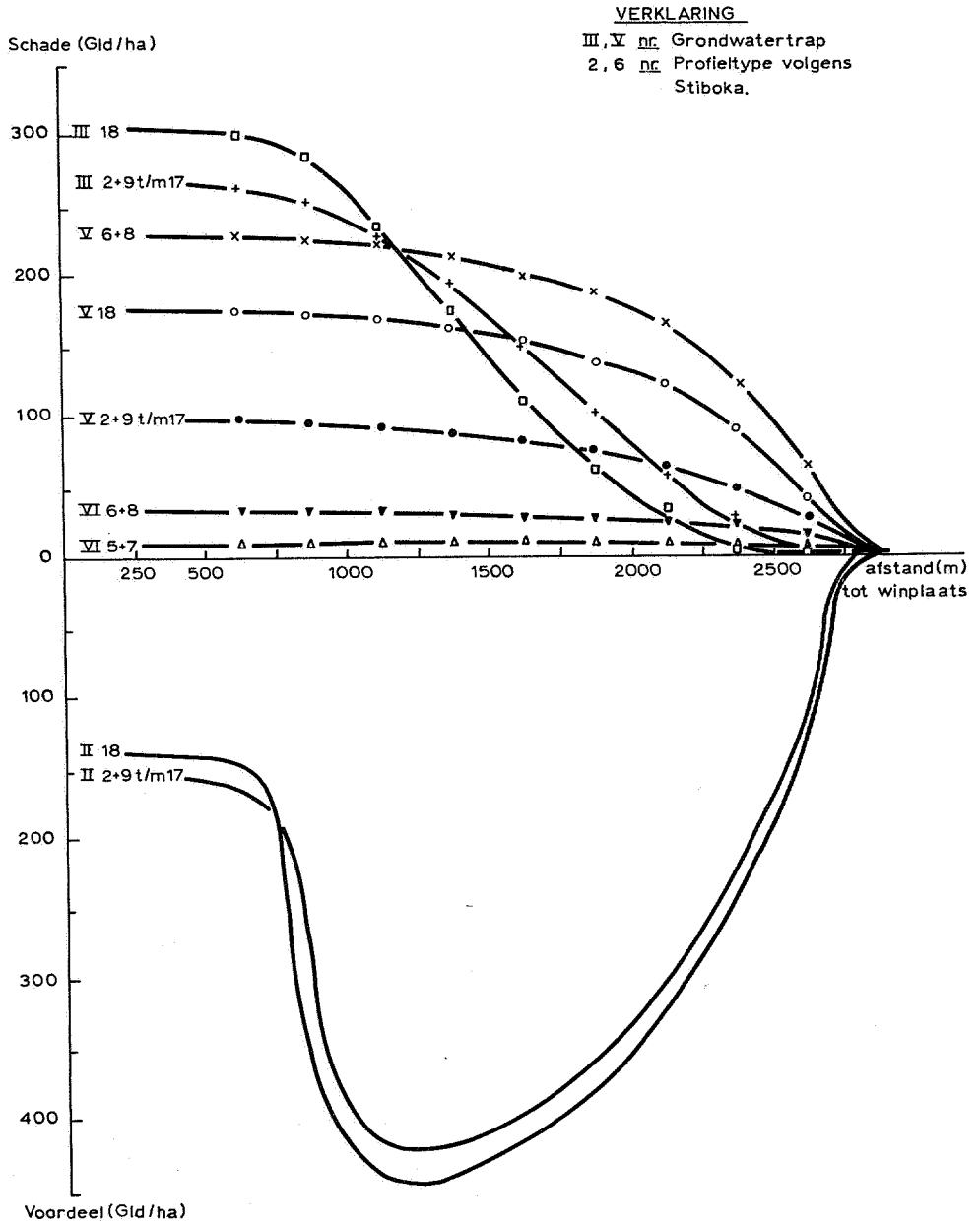


Fig. 3. De ten gevolge van grondwaterwinning optredende landbouwschaden (c.q. voordelen) bij verschillende grondwatertrappen en profieltypen in relatie tot de afstand tot de winplaats.

jaren 1950—1965 door het voormalige CILO is uitgevoerd. Hierbij werden voor een groot aantal percelen de opbrengsten bepaald, waarbij tevens de grondwaterstand, de bodemkenmerken en de bemestingtoestand werden vastgelegd. Het is opvallend, dat van deze gegevens geen groter gebruik is gemaakt. Van wat onverwachte zijde heeft de laatste jaren de bewerking van de gegevens plaatsgevonden door ir. Bruyn van de Waterleiding Maatschappij Oostelijk Gelderland (4). Onder het motto, dat al zo veel Wageningers zich op, zoals dat heet, "Delfts terrein" hebben bewogen, dook Bruyn, als "civiele man" in deze puur landbouwkundige materie. Hij wilde kennelijk zelf wel eens zien hoe de Wageningers aan die grote landbouwschadebedragen komen, argwanend geworden door uitspraken als van de grasland-specialist Jagtenberg, die in de samenvatting van de PAW-mededelingen (5) schrijft en ik citeer: "Het blijkt dat de invloed van de grondwaterstanden op de grasgroei niet groot, en bovendien op verschillende tijdstippen in het groeiseizoen op verschillende grondsoorten en bij een verschillende weersgesteldheid, niet dezelfde is. Een optimale grondwaterstand bestaat alleen op een zeker moment op een zekere grondsoort".

Bruyn concludeerde aan de hand van zijn eigen onderzoek dat voor beekerdgronden onder natuurlijke grondwaterstandfluctuatie de schade van beperkte aard is. Figuur 4 laat zien hoe Bruyn tot deze uitspraken kwam. Beekerdgronden op Gt VI en VII komen in dit materiaal niet voor; bij kunstmatige onttrekking is dit echter wél het geval. Een nadeel van het CILO proefplekkenonderzoek is, dat het bemestingsniveau laag was (ca. 70 kg/ha) in vergelijking met de huidige mestgiften van 200 à 300 kg/ha.

Onderzoek naar de potentiële opbrengstniveaus, speciaal bij berekening, is verder verricht door Baars en Hellings (6 en 7). Op een vergelijking van diverse onderzoeken kom ik nog nader terug.

Als volgend belangrijk onderzoek wil ik de methode Rijtema bespreken. Rijtema heeft van een 20-tal standaardprofielen de verschillende bodemfysische parameters bepaald, zoals het poriënvolume, pF-krommen en het verband tussen de capillaire stroomsnelheid en vochtspanning. Daarnaast moet ook de dikte van het humeuze dek bekend zijn en is het verder nodig de verticale afvoercomponent te kennen. Deze wordt door Rijtema bepaald door voor verschillende punten waterbalansen op te stellen. Voor de oude toestand zijn meestal te weinig gegevens aanwezig om de grondwaterdiepte nauwkeurig te bepalen en moet men zich op andere wijze behelpen. Door de Stiboka kunnen in vele gevallen aan de hand van nog aanwezige kenmerken in het bodemprofiel de oude grondwatertrappen worden geкартеerd. Hieruit kan dan het oude grondwaterstandverloop redelijk nauwkeurig worden gereconstrueerd. Zowel door Rijtema als ook door de schadecommissie Olden-Eibergen is deze methode gehanteerd, met dit verschil, dat Rijtema met de grondwaterstand aan het begin van het groeiseizoen (15 april) werkt en de schadecommissie Olden-Eibergen

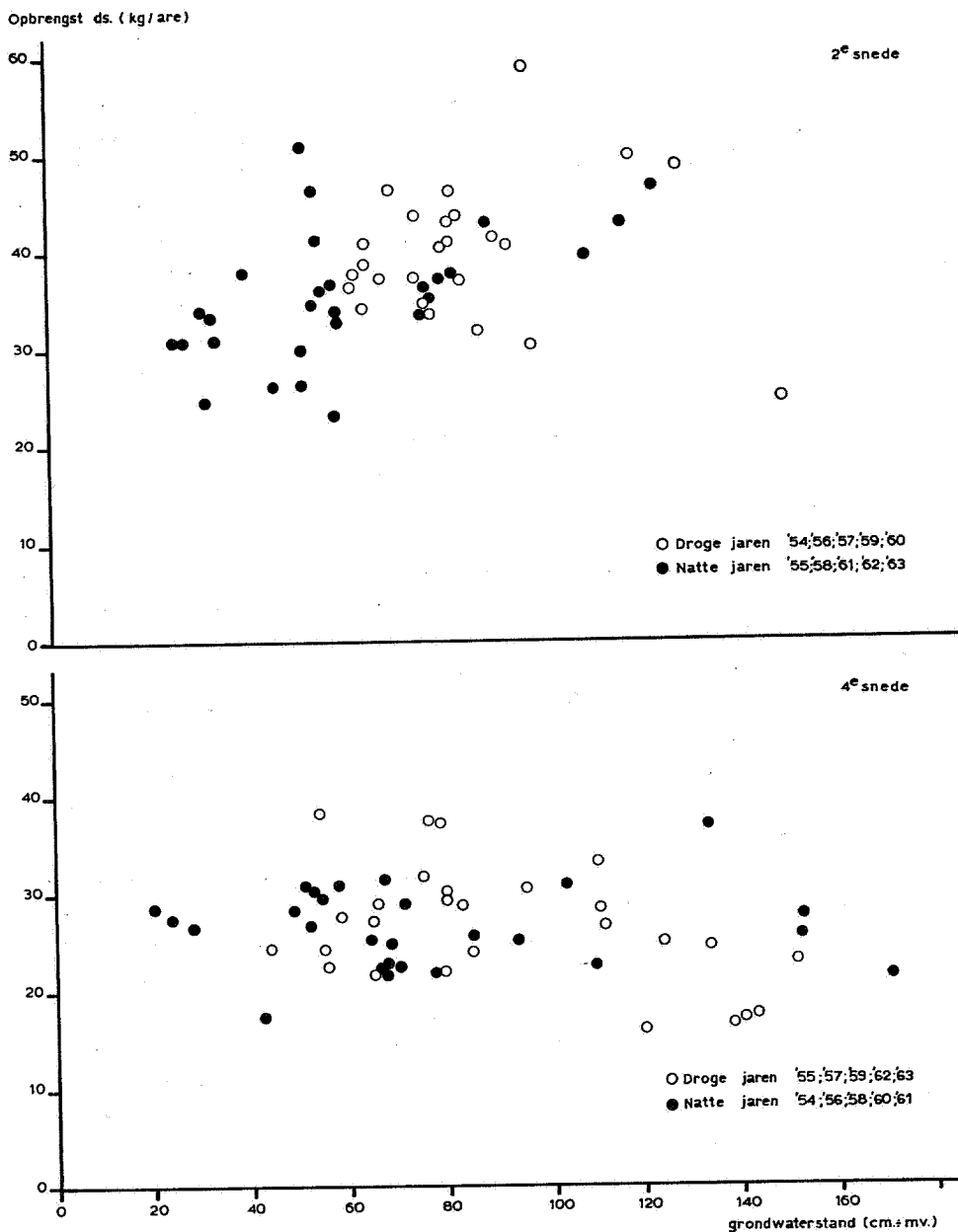


Fig. 4. De grasopbrengsten van resp. de 2^e en 4^e snede op bekeerdgronden in diverse natte en droge jaren in afhankelijkheid van de grondwaterstand.

met de gemiddelde waterstand over de periode 1 april-1 juli (8). Rijtema voert zijn berekeningen uit voor perioden van 15 dagen en voor een groeiseizoen van 150 dagen. Hierbij gebruikt hij neerslag- en verdampingssommen, die voor verschillende onder- en overschrijdingskansen zijn berekend. Tegen de wijze waarop deze neerslag- en verdampingsoverschotten worden berekend, kunnen bedenkingen worden geuit. De figuren 5, 6 en 7 laten zien welke resultaten Rijtema voor het pompstation Losser verkreeg (9).

De berekeningsmethode van Rijtema is door De Laat geschikt gemaakt voor computerbewerking, hetgeen het mogelijk maakt deze methode veel sneller en op grotere schaal toe te passen. De Laat heeft hiermee een belangrijk werk verricht.

Een ander belangrijk aspect waar ik nog op wil wijzen is, laat ik zeggen, de "vertaling" van de bodemkundige gegevens zoals deze door de Stiboka worden geëxtraheerd, in de standaardprofielen van Rijtema. Het is van groot belang dat hieraan door de Stiboka thans met voortvarendheid wordt gewerkt. In dit verband mag ik wijzen op een publikatie van Krabbenborg (10).

Als bezwaar van de door Rijtema opgestelde rekenmethode gold oorspronkelijk dat de afvoer niet als output werd geleverd en dat de actuele toevoer aan het grondwater dus niet werd berekend. De Laat (11) heeft zijn computerprogramma zodanig opgezet, dat deze toevoer aan het grondwater wél wordt berekend, en dat de actuele neerslagreeksen kan worden ingevoerd. De output van het onverzadigde model kan dan dienen als input van het verzadigde model. Hierbij kan in principe de berekening op dag-voor-dag-basis geschieden.

Groot en De Jager (12) hebben de door Rijtema in zijn proefschrift voorgestelde techniek bij een onderzoek met succes gebruikt. Zij introduceerden hierbij een zogenoemde (C+M+S)-waarde, waarbij de variabelen achtereenvolgens voorstellen het beschikbare vochtgehalte in de wortelzone; de capillaire wateraanvoer en het water onttrokken aan de laag tussen de wortelzone en de grondwaterstand. Onder andere door gebruik te maken van gemiddelde grondwaterstanden ontstaan fouten, maar voor een groeiseizoen als geheel verkregen zij goede resultaten (zie figuur 8) en de methode lijkt geschikt om globale voorspellingen te doen voor relatief lange perioden. Actuele neerslagreeksen kunnen echter niet op deze wijze worden verwerkt en uitspraken over korte tijdvaklengten zijn onmogelijk.

Als volgende methode wil ik noemen het werk van Visser, dat op de vorige TNO-dag in het kader van de voordrachtenreeks over het Sallandonderzoek is gepresenteerd (13). Uitvoerig is hierbij op deze methode ingegaan, zodat ermee volstaan kan worden hiernaar te verwijzen.

Tenslotte wil ik nog de aandacht vestigen op de activiteiten van de CoGroWa, die veel stimulerend en coördinerend werk doet en de resultaten van de diverse onderzoeken zoveel mogelijk op een gelijke noemer tracht te brengen. Daarnaast heeft de CoGroWa zelf, vooral gebaseerd op empirische gegevens en praktijkkennis, een

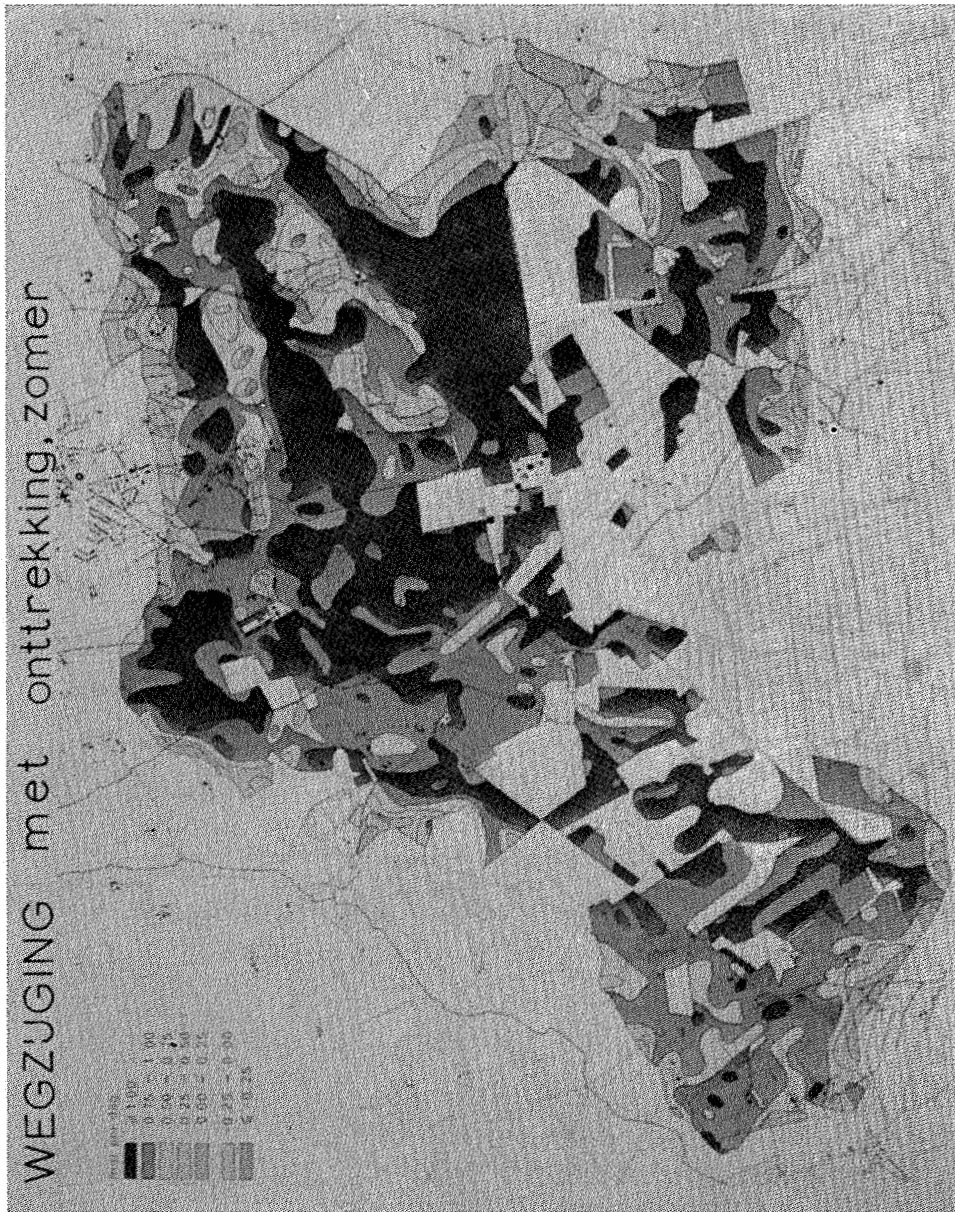


Fig. 6. Idem als fig. 5, maar nu met invloed van grondwaterwinning.

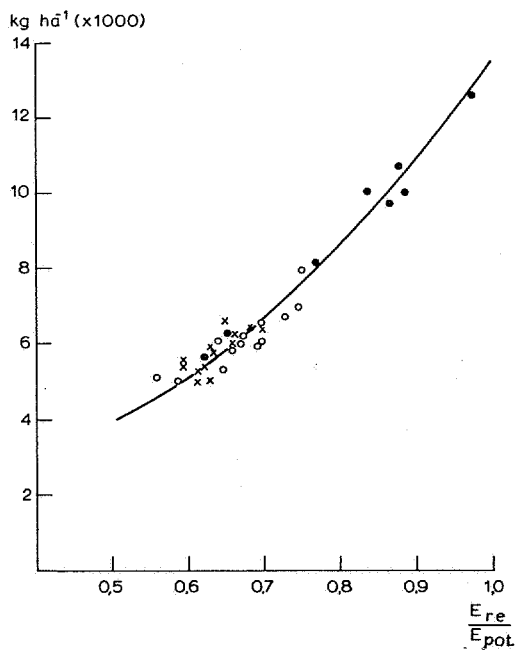


Fig. 7. De grasopbrengsten bij verschillende verdampingsreducties (E_{pot} = potentiële verdamping; E_{re} = werkelijk opgetreden verdamping).

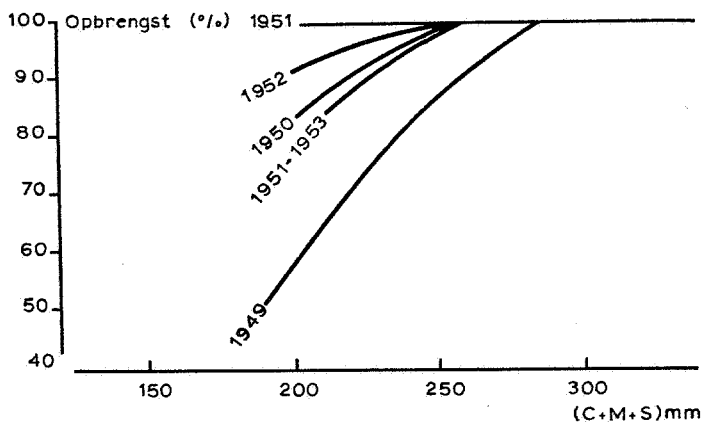


Fig. 8. Het opbrengstpercentage van grasland in een aantal jaren in afhankelijkheid van de (C + M + S)-waarde (opbrengst bij potentiële verdamping = 100%).

berekeningsmethode opgesteld (14). Naar mijn mening zal haar belangrijkste taak echter blijven het voorkömen, dat bij de diverse schadeberekeningen van verschillende uitgangspunten en normen wordt uitgegaan en dat zoveel mogelijk tot een uniforme berekeningsprocedure wordt gekomen.

Het geheel van beschikbare methoden en resultaten overziende moet men constateren dat de laatste jaren de studie betreffende de relatie tussen grondwaterstand en landbouwopbrengst opnieuw sterk in de belangstelling is gekomen en dat thans enkele nieuwe methoden en technieken beschikbaar zijn. Afgewacht moet echter worden welke methode de beste toepassingsmogelijkheden biedt. De door Rijtema ontwikkelde methode vindt momenteel veel toepassing. Met de aanvulling van De Laat wordt deze methode ook toegepast bij het onderzoek in Gelderland, dat in een volgende paragraaf zal worden besproken.

Bij het onderzoek naar de samenhang tussen grondwaterstand en opbrengst blijven nog voldoende vraagpunten over. Hiervan moeten worden genoemd de onzekerheden, die nog bestaan ten aanzien van de natte tak van de opbrengstontwateringsdieptecurve. Het kwantificeren van de schade door wateroverlast is nog moeilijker dan het vaststellen van de schade, die door droogte wordt veroorzaakt. De wateroverlastschade ontstaat door een complex van factoren, als vertrapping, verlate groei en late start van het weideseizoen, bewerkings- en bemestingsproblemen, e.d. Goede kwantitatieve gegevens zijn echter in dit opzicht moeilijk te verkrijgen, hetgeen wellicht verklaarbaar is, maar aan de andere kant toch ook verwonderlijk, gezien de belangrijke rol, die de verliezen tengevolge van wateroverlast in het geheel van de schadebepalingsprocedure spelen. Aanvankelijk zal een kunstmatige grondwaterstandverlaging in een te nat gebied immers geen schade, maar juist een vóórdeel met zich meebrengen.

Bestaat er nog de nodige onzekerheid ten aanzien van de natte tak van de opbrengstcurve, ook wat betreft de droge tak zijn nog niet alle problemen opgelost. De schadelijnen, die uit de verschillende onderzoekingen volgen vallen dan ook niet samen (figuur 9). Deze figuur is ontleend aan een vergelijkend onderzoek dat door de CoGroWa is opgezet en onder andere in lit. no. 14 is gepubliceerd.

Een ander belangrijk punt ten aanzien waarvan nog verschillen van inzicht bestaan is het waarden in geld van de opbrengstdepressies. Ook wat dit betreft lopen de meningen uiteen, maar hier zal in het kader van dit artikel niet nader op worden ingegaan.

3. ANDERE ASPEKTEN VAN HET GRONDWATERSTAND-LANDBOUWOPBRENGSTPROBLEEM

Niet alleen kan een grondwaterstandverlaging een direkte landbouwschade veroorzaken, maar op een meer indirecte wijze kan er ook invloed bestaan, bijvoorbeeld doordat bepaalde sloten droogvallen of althans minder water ontvangen dan voor-

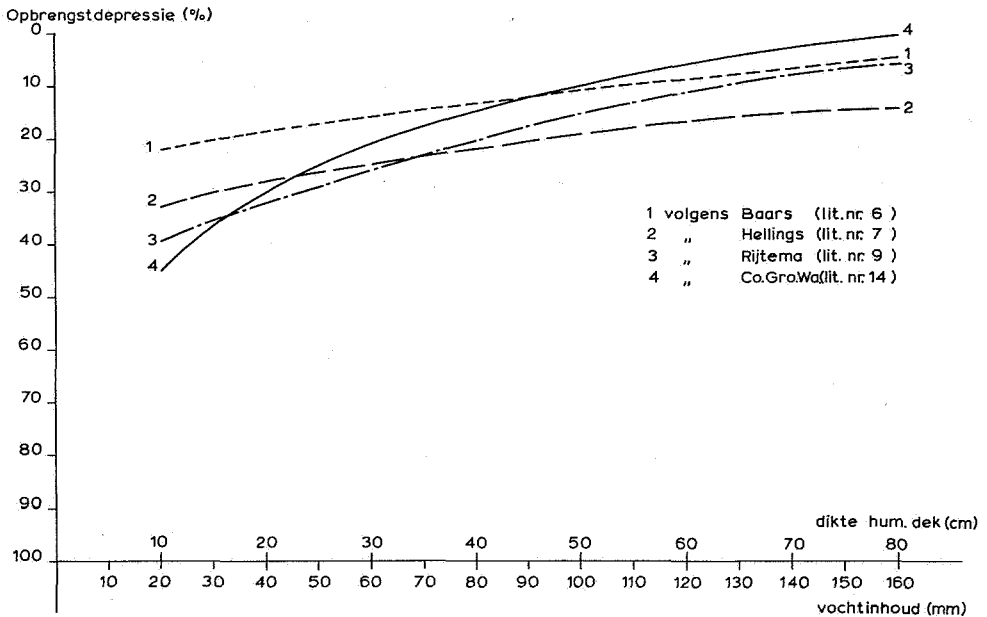


Fig. 9. De opbrengstdepressie op grasland bij verschillende dikten van het humeuze dek c.q. vochtinhouden, berekend volgens de resultaten van diverse onderzoeken. Het potentiële opbrengstniveau is gesteld op 5400 kg zetmeelwaarde per ha (netto).

heen. Dit heeft consequenties voor het gebruik van het water als veedrenking e.d. Ook is het droogvallen van de sprengen op de Veluwe een bekend verschijnsel, dat reeds vele onderzoekers heeft beziggehouden.

Mogelijk had het betoog tot nu toe iets van het verhaal van Roodkapje en de Boze Wolf, of vrij vertaald: van de aardige lieve landbouw en de boosaardige, niets ontziende grondwateronttrekkers. Dit beeld is geen juiste afspiegeling van de werkelijkheid. Er is namelijk een duidelijke wederzijdse beïnvloeding en ook maatregelen ten behoeve van de landbouw, die meestal door het waterschap of in ruilverkavelingsverband worden genomen, kunnen de mogelijkheden van grondwateronttrekking beïnvloeden. Zo kan door het omleggen van leidingen, van waaruit eerst een zekere voeding naar het waterwingebied plaats had deze toevoer verminderen. Ook kan door het instellen van een bepaald slootpeil, ten behoeve van de landbouw, het gebruik van dit water voor andere doeleinden worden beïnvloed (b.v. voor de waterinlaat ten behoeve van kunstmatige infiltratie).

Tenslotte zal nog kort worden ingegaan op de mogelijkheid om de ontstane landbouwschade tengevolge van een kunstmatige grondwaterstandverlaging niet door een geldelijke uitkering te vergoeden, maar de gevolgen van de onttrekking op andere

wijze te compenseren. Hierbij kan worden gedacht aan de kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater in het waterwingebied of aan beregening. Dit laatste heeft als bezwaar, dat meestal aanspraak wordt gemaakt op hetzelfde water als waarover ook de drinkwatervoorziening wil beschikken, en verder dat de grootste behoefte aan beregening bestaat in tijden dat juist de meeste moeilijkheden optreden. Enkele voorlopige resultaten van een proef ten aanzien van het opzetten van het slootpeil laat figuur 10 zien.

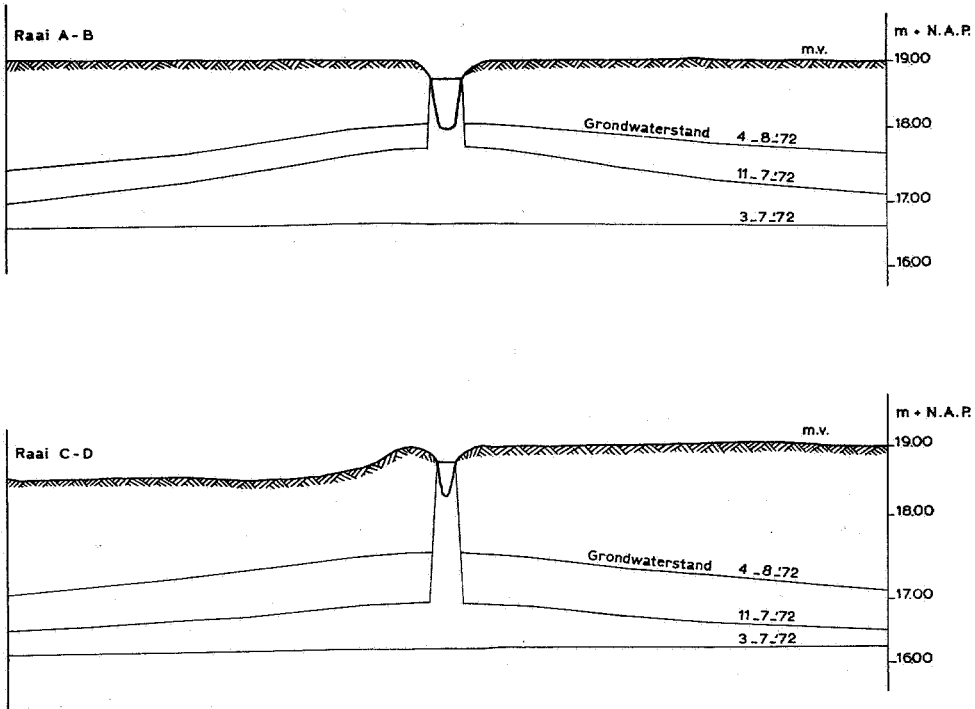


Fig. 10. De invloed op de grondwaterstand van het opzetten van het slootpeil door waterinlaat vanuit de Berkel (waterwingebied Olden Eibergen).

Verder lijkt het zinvol om in de toekomst de grondwateronttrekking voor andere doeleinden (b.v. de industrie) zoveel mogelijk te beperken, door het hergebruik van water te stimuleren en ook door voor koeling minder grondwater te gebruiken. De hiervoor gesignaleerde samenhangen tussen maatregelen in waterschapsverband en t.b.v. de drinkwatervoorziening en tussen waterkwaliteit en waterkwantiteit, leveren een dankbaar opstapje voor het laatste deel van dit artikel: de integrale studie van de waterhuishouding. Hierop zal ook ir. Oudshoorn (15) ingaan. Hij vraagt de aan-

dacht voor het grootschalige, landelijke model voor de waterhuishouding. Daarentegen zal in de volgende paragraaf kort op de regionale studie van de waterhuishouding worden ingegaan.

4. REGIONAAL WATERHUISKUNDIG ONDERZOEK

Met het noemen van mogelijke schade op de Veluwe in de vorige paragraaf is reeds een aspect geïntroduceerd, dat in de laatste jaren een steeds belangrijkere rol is gaan spelen, n.l. de gevolgen die een verandering in de waterhuishouding van een gebied kan hebben voor de natuurlijke begroeiing en het landschap in het algemeen. Steeds meer nadruk valt op de mogelijke schade die aan deze belangen zou kunnen worden toegebracht, evenals trouwens aan die van de recreatie. Er zijn dus veel méér belangen in het spel, dan die van de landbouw alleen. Kort opgesomd zijn deze:

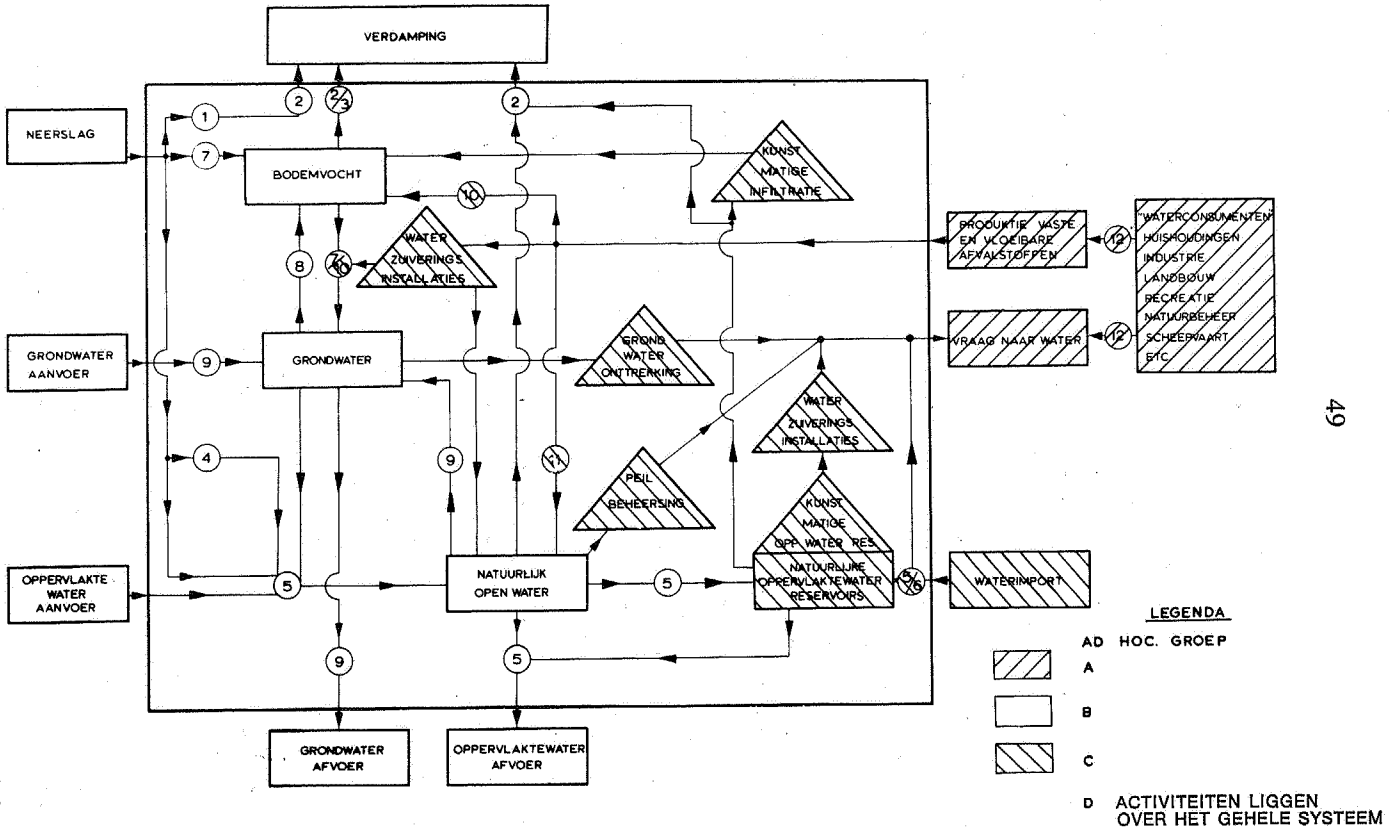
- drink- en proceswatervoorziening van bevolking, industrie en landbouw;
- peilbeheersing ten behoeve van landelijke en stedelijke gebieden;
- natuur- en landschap;
- recreatie;
- transport en omzetting van afvalstoffen;
- scheepvaart.

Afhankelijk van de diverse functies worden aan het water kwaliteits- en kwantiteits-eisen gesteld.

De doelstelling van het integrale waterhuishoudkundig onderzoek zoals dat in Gelderland wordt uitgevoerd (16), kan als volgt worden omschreven: “het scheppen van een wetenschappelijke basis voor een optimaal beheer van het aanwezige oppervlakte- en grondwater naar kwantiteit en kwaliteit”. Het doel van het onderzoek is dus de ontwikkeling van een integraal waterbeheermodel, waarmee het uiteindelijke watervoorzieningsniveau naar kwantiteit en kwaliteit kan worden bepaald en de onderlinge afweging van de belangen die hierbij zijn betrokken, kan plaatsvinden. In dit model vindt de integratie plaats van de resultaten verkregen met een aantal deelmodellen, opgesteld voor de diverse componenten van het waterbeheerssysteem.

De manier waarop men zich een dergelijk waterbeheerssysteem kan denken te zijn samengesteld, is in figuur 11 gegeven. Er kan dus onderscheid worden gemaakt tussen: een socio-economisch deelsysteem, waarin de vraag naar water door de diverse “consumenten” en de productie van afvalstoffen een belangrijke rol spelen; het natuurlijke hydrologisch systeem, waarin onder andere de processen van neerslag, verdamping, open-water-afvoer en de stroming in de onverzadigde en verzadigde zones thuis horen; tenslotte het systeem, dat de “speel”mogelijkheden (het feitelijke waterbeheer) beschrijft, d.w.z. de peilregeling, de voorraadvorming in spaarbekkens maar ook in de grond, de zuiveringsmogelijkheden van oppervlaktewater etc.

Fig. 11. Schematisch diagram van een waterbeheersysteem en zijn omgeving (ad groep A: socio-economisch onderzoek; ad hoc-groep B: hydrologisch onderzoek; ad hoc-groep C: waterbeheersonderzoek; ad hoc-groep D: wiskundige technieken en modellen).



Een werkgroep waarin vele rijks-, provinciale en regionale diensten en instituten zijn vertegenwoordigd voert het onderzoek uit. De problemen die in de onderscheiden deelsystemen aan de orde komen, worden door een aantal ad hoc-groepen bestudeerd, waarbij de deelsystemen zoveel mogelijk in mathematische modellen worden beschreven. Er zal in wezen dus geen sprake zijn van één waterhuishoudkundig model, maar van een samenstel van deelsystemen. Dit levert uiteraard problemen op bij de optimalisering van het systeem als geheel. Een aantal technieken om aan deze moeilijkheid tegemoet te komen zijn evenwel aanwezig (17).

Tot slot een korte opsomming van de diverse modellen waaraan wordt gewerkt en de onderzoeken die in uitvoering zijn. In de eerste plaats het verdampingsmodel en het model voor de stroming in de onverzadigde zone waaraan, zoals reeds in par. 3 is opgemerkt, de methode Rijtema ten grondslag ligt met de aanvullingen van De Laat. Daarnaast het model voor de stroming in de verzadigde zone volgens de eindige elementenmethode. Een belangrijk punt is, dat de genoemde drie modellen zijn gekoppeld zodat bijv. kan worden vastgesteld welke invloed een onttrekking aan het verzadigde systeem heeft op het onverzadigde systeem. Ten behoeve van deze modellen wordt veel onderzoek verricht naar de parameters die nodig zijn. Dit betreft speciaal de bodemfysische constanten, maar ook de meteorologische en hydrologische grootheden. Verder wordt ook gewerkt aan een globaal model voor het grondwaterbeheer volgens de eindige-differentie-methode.

In de tweede plaats wordt veel aandacht besteed aan het opstellen van modellen voor de waterkwaliteit. Hierbij richt de studie zich voornamelijk op een zuurstof- en BOD-model. Het blijkt dat ook voor de kleinere beken de ademhaling en fotosynthese van de beekbegroeiing een zeer belangrijke rol spelen. Het vaststellen van de vele modelparameters vraagt ook in dit geval bijzonder veel onderzoek.

Een derde groep van belangrijke onderzoeken betreft de relatie tussen waterbeheer en natuur en landschap. In dit kader wordt een vegetatiekartering uitgevoerd en wordt aansluitend een waardebeoordeling van de verschillende plantengemeenschappen opgesteld. Tenslotte wordt nagegaan welk effect een eventuele verandering van de waterhuishouding van een gebied op de natuurlijk aanwezige begroeiing zal hebben. In deze categorie onderzoeken valt ook het hydrobiologisch onderzoek dat ongeveer volgens dezelfde lijnen verloopt als het hiervoor geschetste terrestrische vegetatie-onderzoek.

In de vierde plaats wordt onderzoek verricht naar de relatie tussen recreatie en het waterbeheer naar kwaliteit en kwantiteit.

Als vijfde punt moet het onderzoek worden genoemd dat door een van de ad hoc-groepen wordt verricht ten aanzien van het opstellen van de technische kostenfuncties voor de diverse winnings- en zuiveringsmethoden. Dit betreft dus allereerst de kosten van grondwaterwinning maar daarnaast ook die van het opslaan van water

in spaarbekkens. Verder worden de kosten van de verschillende trappen van zuivering door deze groep bestudeerd.

Als laatste groep van belangrijke onderzoeken wil ik noemen het onderzoek door de socio-economische ad hoc-groep die onder andere aan de hand van de zo-even genoemde technische kostenfuncties tracht de nuts- en vraagfuncties voor het gebruik van water en vervuilingsgelegenheid op te stellen. In feite vindt binnen deze groep, zoals ook reeds eerder is opgemerkt, de eigenlijke integratie plaats van de resultaten, verkregen met de verschillende deelmodellen.

In het voorgaande zijn enkele hoofdpunten aangegeven van het regionale waterhuishoudkundig onderzoek in Gelderland. In een artikel in het tijdschrift H₂O (16) wordt meer in detail op dit onderzoek ingegaan.

5. CONCLUSIES

Het agro-hydrologisch onderzoek moet verder worden gestimuleerd, waartoe het opstellen van het structuurschema voor de drinkwatervoorziening kan bijdragen. De studie van de agro-hydrologische problemen zal echter niet los van de andere deelbelangen, die bij het waterbeheer betrokken zijn moeten geschieden, maar zoveel mogelijk in samenhang hiermee. Wat betreft het specifieke probleem van de relatie tussen grondwaterstand en landbouwopbrengst moet tot een zoveel mogelijk uniforme berekeningsmethode worden gekomen. De methode Rijtema biedt in dit verband goede mogelijkheden. Speciale aandacht dient nog te worden geschonken aan de natte tak van de opbrengst ontwateringsdiepte-curve en ook zal tot een definitieve uitspraak moeten worden gekomen wat betreft het uitdrukken van de opgetreden gewasschade in geld.

LITERATUUR

1. WESSELING, J. en H. J. COLENBRANDER 1972—The use of geohydrology in solving water management problems in agriculture. *Geologie en Mijnbouw*, Vol. 51(1) p. 71—84
2. KOUWE, J. J. 1974—Plant production and hydrological conditions. 27e Techn. Bijeenkomst Com. Hydr. Onderz. TNO
3. SNIJDERS, J. H. 1970—Waterbeheersing en inkomen in het Leerinkbeekgebied. In: Hydrologisch onderzoek in het Leerinkbeekgebied: Deelrapport 13
4. BRUYN, J. 1971—Opbrengst Grasland: Ontleend aan metingen van het Proefstation voor Akker- en Weidebouw. Nota N.V. Waterleiding Mij Oostelijk Gelderland
5. JAGTENBERG, D. W. 1962—Vijftien jaar bruto-opbrengstbepaling op grasland. Deel III Meded. Proefst. Akker- en Weidebouw no. 73
6. BAARS, C. 1964—Rentabiliteit van beregening van landbouwgewassen op zandgrond. Stikstof no. 43
7. HELLINGS, A. J. 1972—Het verband tussen waterverbruik en opbrengst bij gewassen zonder duidelijke gevoelige stadia. Rijkslandb. consultantschap voor bodem en bemesting
8. TON, H. 1974—Toepassing van het rekenschema-Rijtema bij het berekenen van droogteschaden in Olden Eibergen. Ingenieurs-scriptie Afd. Cultuurtechniek L. H. Wageningen
9. RIJTEMA, P. E. en J. BON 1974—Bepaling van de landbouwkundige gevolgen van grondwaterwinning met behulp van bodemkundige gegevens, toegepast op de waterwinning Losser. Inst. Cultuurtechn. Waterhuish. Regionale Studie no. 7
10. KRABBENBORG, A. J. 1972—Standaard pF-curven van fijnzandige gronden. Intern. Med. no 8. Sticht. Bodemk. Wageningen
11. DE LAAT, P. J. M. in druk—Pseudo-steady state solution of water movement in the unsaturated zone of the soil. *Neth. Journ. of Hydrology*
12. GROOT, J. M. en A. W. DE JAGER 1969—Yield depression due to lowering of the water table on sandy soils in the Netherlands. *Neth. Journ. Agric. Sci.* 17: 99—108
13. VISSER, W. C. 1974—The aim of modern hydrology. 27e Tech. Bijeenk. Com. Hydr. Onderz. TNO
14. COMMISSIE GRONDWATERWET WATERLEIDING-BEDRIJVEN 1972—Nota inzake verdrogingsshade aan grasland in het waterwin- gebied "Weerselo" (O)
15. OUDSHOORN, H. M. 1975—Waterhuishoudkundige aspecten. 29e Techn. Bijeenk. Com. Hydr. Onderzoek TNO
16. COLENBRANDER, H. J. en Th. J. VAN DE NES, 1974—Waterhuishouding vroeger, nu en in de toekomst. *H₂O* 7 jrg, nr. 1: 10—16
17. HAIMES, Y. Y. 1973—Hierarchical modeling of regional total water resources systems. Symp. on control of water resources systems. Haifa.

IV. OPPERVLAKTEWATER EN VOORRAADVORMING

Th. G. MARTIJN

Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen KIWA N.V.

SUMMARY

SURFACEWATER AND STORAGE

Lack of sufficient groundwater forces the waterundertakings in the Netherlands to use surface water from the rivers Rhine and Meuse. On the basis of today's technology storage is needed to overcome either the qualitative or the quantitative restrictions of the mentioned rivers.

For the purpose of calculating the storage capacity, characteristics have been developed for the Rhine and the Meuse. In relation with the demand for water for other purposes than public supply, a system has been worked out that may serve as basis for a cost-benefit analysis for use of water from the river Meuse.

The river Rhine is loaded with kitchen salt, discharged artificially within the catchment area. A calculation is presented to demonstrate the damage to public water supply in the Netherlands due to the salt load of the river Rhine.

1. INLEIDING

Hedenmorgen zal duidelijk zijn geworden dat in de toekomst in toenemende mate gebruik zal moeten worden gemaakt van oppervlaktewater om in de behoefte aan water voor bevolking en industrie te kunnen voldoen. Ik zal mij in deze voordracht beperken tot het gebruik van oppervlaktewater afkomstig uit Rijn en Maas.

Vooropgesteld moet worden dat het niet per definitie zo is dat het voor projecten voor de toekomstige watervoorziening gaat om het gebruik van grond of oppervlaktewater. Systemen waarbij grond- en oppervlaktewater beide worden gebruikt zijn eveneens ontwikkeld, waarbij de kunstmatige infiltratie wel één van de voornaamste voorbeelden is. Voorts wordt gedacht aan systemen, waarbij grondwater van goede kwaliteit wordt gemengd met oppervlaktewater van relatief slechte kwaliteit, met een redelijk eindprodukt als resultaat.

In deze voordracht zal ik mij echter binnen de mij toegemeten tijd enige beperkingen moeten opleggen en derhalve alleen het enkelvoudig gebruik van Rijn- en Maaswater behandelen. Ik ga er van uit dat onder de huidige omstandigheden, hetzij om kwalitatieve, hetzij om kwantitatieve redenen, hetzij om beide redenen voor-

raadvorming zal moeten worden toegepast bij het gebruik van Rijn- en Maaswater. In dit verband zal ik alleen de *open voorraadvorming* behandelen, d.w.z. de voorraad die wordt aangelegd door de bouw van kunstmatige reservoirs.

2. VERWERKING VAN OPPERVLAKTEWATER

Bij een oppervlaktewater-verwerkend waterleidingbedrijf kan men in het algemeen vier elementen onderscheiden.

- a. de bron waaraan het water wordt onttrokken;
- b. de voorraad;
- c. de zuivering;
- d. transport van het eindprodukt.

Alvorens met de eigenlijke voorraadvorming te beginnen zou ik over deze vier elementen enige opmerkingen willen maken:

2.1 *De bron waaraan het water wordt onttrokken*

In het kader van deze voordracht dus de Rijn of de Maas. Om te kunnen beoordelen op welke wijze de bron dienstbaar kan worden gemaakt zal deze goed moeten worden gekend, zowel in kwantitatieve als in kwalitatieve zin. De bedoeling van het structuurschema is onder meer het aangeven van de nodige infra-structurele werken. Hierbij gaat het om een indruk van de omvang van de nodige werken en niet om een gedetailleerde uitwerking van de diverse projecten. Dat kan tot een later stadium worden bewaard en is de taak van de waterleidingbedrijven. In dit licht bezien was het nodig om over een kwantitatieve en een kwalitatieve karakteristiek van de Rijn te beschikken, waarmede op eenvoudige wijze berekeningen kunnen worden uitgevoerd die een globale dimensionering van de nodige werken mogelijk maken. Opgesteld werden afvoercharacteristieken voor een normaal jaar, een droog jaar en een zeer droog jaar; dit zijn gefixeerde afvoerpatronen behorend bij een totale jaarafvoer die gemiddeld respectievelijk 1x per 2 jaar, 1x per 10 jaar en 1x per 50 jaar optreden.

Als parameter voor de kwaliteit van het Rijnwater werd het chloridegehalte van het ruwe water gekozen. Met behulp van de formules van Mazure, waarmede het verband wordt gelegd tussen de afvoer van de rivier en het chloridegehalte, werden de afvoercharacteristieken vertaald in chloridecharacteristieken.

Voor de Maas werden eveneens afvoercharacteristieken opgesteld voor een normaal, een droog en een zeer droog jaar. Het is bekend dat de Maas een gestuwde rivier is met aftappingen van water die buiten het stroomgebied van de rivier worden gebracht. Op grond van de beschikbare gegevens werden de afvoercharacteristieken opgesteld voor de onverdeelde Maas, m.a.w. alsof geen aftappingen plaatsvonden.

Tenslotte werd beschikt over een kwantitatieve en kwalitatieve karakteristiek van onze grote rivieren. Voor de Rijn te Lobith en voor de Maas te Monsin — d.i. in België even stroomopwaarts van de aftakking van het Albertkanaal — en te Lith.

2.2 *De voorraad*

Voorraadvorming is in de eerste plaats noodzakelijk om perioden van accidentele verontreiniging van het rivierwater te overbruggen. We spreken dan van calamiteiten, die kunnen worden veroorzaakt door ongelukken op de rivier, bijvoorbeeld door het vergaan van schepen geladen met giftige stoffen of ongecontroleerde lozingen van toxische stoffen. Vooral voor de Maas geldt dat de voorraad moet worden aangelegd om perioden van onvoldoende aanvoer van Maaswater te overbruggen. De relatief constante belasting met verontreinigende stoffen van de rivieren leidt bij een wisselende afvoer van de rivier tot een wisselende kwaliteit van het water. Met behulp van de voorraad worden de kwaliteitsschommelingen afgevlakt met als resultaat een relatief gelijkmatige belasting van de zuiveringsinstallaties. Deze installaties worden hierdoor ontlast van zware piekbelastingen.

Bepaalde verontreinigingen, met name het chloridegehalte, kunnen met de conventionele zuiveringstechnieken niet worden verwijderd. Door exploitatie van de voorraad kunnen deze verontreinigingen tot een aanvaardbaar niveau worden teruggebracht.

2.3 *De zuivering*

Het doel van de zuivering van water is het bereiden van een produkt, dat niet alleen houdbaar is in het leidingnet, maar dat tevens van een zodanige kwaliteit is, dat het kan worden gebruikt als drinkwater en voor huishoudelijk gebruik. De industrie moet het kunnen benutten voor allerlei doeleinden, terwijl het tevens moet kunnen dienen als grondstof voor de bereiding van proceswater, ketelvoedingwater en dergelijke. Dit betekent dat aan het af te leveren water kwaliteitseisen moeten worden gesteld. Met uitzondering van de opvatting, dat leidingwater in hygiënisch opzicht volkomen betrouwbaar moet zijn, bestaan omtrent de kwaliteitseisen veel verschillende meningen. Pogingen tot formulering daarvan zijn gedaan door o.a. de World Health Organization en in Nederland ook door de VEWIN en de Chemische Werkgroep Basisplannen van het RID.

Voorbijgaande aan de exacte waarden van na te streven maximale concentraties van verontreinigende stoffen en ionen kan worden gezegd dat, en dit geldt met name voor de nabije toekomst, gestreefd zal moeten worden naar lage gehalten aan:

1. organische stoffen waaronder kleurstoffen, reuk- en smaakstoffen en toxinen;
2. ammonium-ion en nitriet-ion;

Hiermede wordt verhinderd dat in het leidingnet anaërobie optreedt en daarmee bruin water.

3. ijzer- en mangaanverbindingen;

Niet helder water bij te hoge gehalten, neerslagen op wasgoed.

Voorts moet worden gestreefd naar:

4. lage hardheid;

Beperking vorming ketelsteen en zeepverbruik.

5. lage gehalten aan opgeloste zouten.

Hierbij denkt men veelal in eerste instantie aan het optreden van smaakbezwaren, doch ook het optreden van corrosie bij hogere zoutgehalten moet niet worden onderschat.

Tenslotte is de temperatuur van het water van belang bij gebruik als drinkwater, terwijl hoge temperaturen ook ongewenste bacteriegroei kunnen bevorderen.

Heden ten dage kan een zuivering van oppervlaktewater bestaan uit: microzeving, breekpuntschloring, coagulatie, snelfiltratie, ozonisatie, actief koelfiltratie en desinfectie. Zoals eerder werd opgemerkt moet de voorraadvorming zo mogelijk zorgen voor een gelijkmatige belasting van de zuiveringsinstallaties.

2.4 *Transport van het eindprodukt*

De zorg van de waterleidingbedrijven is het gezuiverde produkt tijdens het transport zijn kwaliteit te doen behouden. Met andere woorden aan de kraan dient een reuk-, kleur- en smaakloos water ter beschikking te worden gesteld, dat enerzijds voldoet aan de absolute eis van hygiënische betrouwbaarheid en anderzijds aan de eisen die aan drinkwater worden gesteld ingevolge de waterleidingwet.

Ik zal mij nu verder beperken tot de voorraadvorming en met u nagaan op welke wijze de noodzakelijke omvang van de voorraden, uitgaande van de eerdergenoemde karakteristieken van Maas en Rijn, op globale wijze kan worden bepaald. Hierbij veronderstel ik dat u bekend bent met de wijze waarop de afvoerkarakteristieken voor het normale, het droge en het zeer droge jaar zijn opgesteld. Voorts neem ik aan dat de beschouwingen met betrekking tot de voorraadvorming bekend zijn, zoals die in de grondslagen basisplannen zijn neergelegd.

3. VOORRAADVORMING BIJ GEBRUIK VAN MAASWATER

Zoals werd opgemerkt is voorraadvorming van Maaswater voornamelijk een kwantitatief vraagstuk. Met andere woorden de vraag moet worden beantwoord hoe groot de voorraad moet zijn om onder alle omstandigheden een ongestoorde watervoorziening te waarborgen. Ik zal mij wederom beperken door deze vraag, bij wijze

van voorbeeld, alleen te beantwoorden voor het geval een spaarbekken wordt gebouwd ter voorziening in de waterbehoefte in Limburg. Hierbij staan we direct voor het feit dat niet alleen de drink- en industriewatervoorziening een beroep op Maaswater doen, doch dat eveneens water nodig is voor de landbouw, verversingsdoeleinden, scheepvaart en koeloeleinden. Dit geldt zowel voor België als voor Nederland. Wat de waterbehoefte in België betreft, biedt een aanknopingspunt het uit 1968 daterende rapport van het Koninklijk Commissariaat voor het waterbeleid in België, getiteld: Het Waterbeleid in België. Uit dit rapport kan worden afgeleid dat de onttrekking van Maaswater in België voor het jaar 1980 mag worden gesteld op 35 m³/sec. Dit water is voor het grootste gedeelte bestemd voor de watervoorziening van de Brusselse agglomeratie, de voeding van het Albertkanaal en de voeding van de Zuid-Willemsvaart en daarbij aansluitende kanalen in de Kempen. Deze hoeveelheid water is in het normale jaar bij Monsin steeds beschikbaar, echter in het droge jaar en het zeer droge jaar is het natuurlijk debiet over lange tijd ontoereikend.

Ten einde in België toch constant 35 m³/sec aan de Maas te kunnen onttrekken, worden daar plannen voorbereid om in het droge jaar door de aanleg van stuwmuren in Hoog-België een minimum afvoer van 50 m³/sec bij Monsin te garanderen. In België werd berekend dat hiertoe reservoirs met een gezamenlijke inhoud van ca. 200 miljoen m³ zullen moeten worden aangelegd.

Voor Limburg zullen wij nu rekening houden met de volgende veronderstellingen:

- a. de afvoercharacteristieken van de Maas te Monsin mogen worden gehanteerd voor de beschrijving van de Maasafvoer over het traject Monsin-Roermond;
- b. de toekomstige behoefte aan Maaswater in Limburg bedraagt continu 3,8 m³/sec, overeenkomende met een hoeveelheid van 120 miljoen m³ per jaar;
- c. de waterbehoefte in België bedraagt niet meer dan 35 m³/sec; een hoeveelheid die wordt afgevoerd buiten het stroomgebied van de Maas;
- d. in België staan reservoirs ter beschikking met een totale inhoud van 200 miljoen m³, waarmede de afvoer te Monsin zo lang mogelijk op 50 m³/sec wordt gehandhaafd.
- e. de waterbehoefte van scheepvaart en verversing bedraagt 25 m³/sec.
- f. de waterbehoefte van de landbouw bedraagt 30 m³/sec, over de periode 1 april - 1 oktober.

De beschikbaarheid van Maaswater voor de watervoorziening van bevolking en industrie kan nu worden aangegeven voor drie gevallen.

- A. Beschikbaarheid van Maaswater voor de watervoorziening van bevolking en industrie benedenstrooms van Monsin na aftrek van de waterbehoefte in België ter grootte van 35 m³/sec.

CONSTRUCTIE VAN DE OVERBRUGGINGSPERIODE t_0 IN HET ZEER DROGE JAAR VOOR DE BEHOEFTEPATRONEN A, B EN C

AFVOER VAN DE MAAS BIJ MONSIN

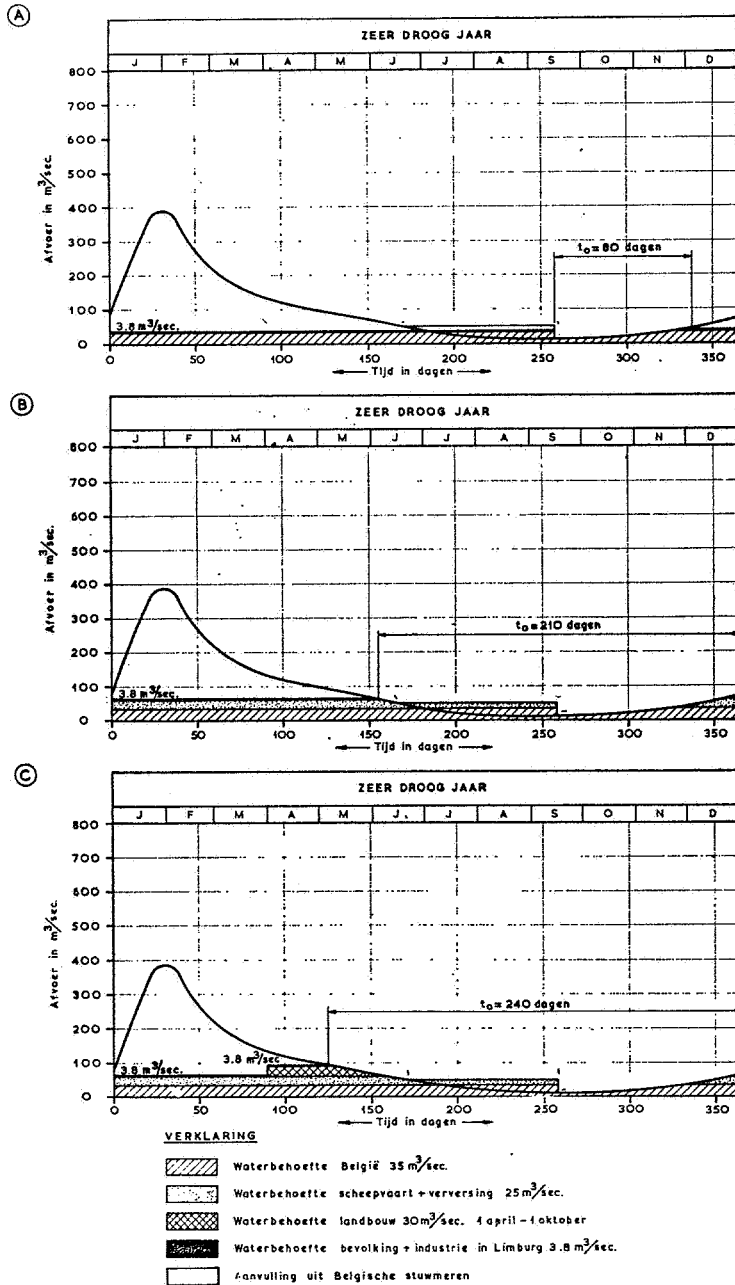


Fig. 1. Constructie van de overbruggingsperiode t_0 in het zeer droge jaar voor de behoeftepatronen A, B en C.

- B. Beschikbaarheid van Maaswater voor de watervoorziening van bevolking en industrie benedenstrooms van Monsin na aftrek van de waterbehoefte in België (35 m³/sec) en de waterbehoefte voor de scheepvaart, doorspoeling en verversing ter grootte van 25 m³/sec.
- C. Beschikbaarheid van Maaswater voor de watervoorziening van bevolking en industrie benedenstrooms van Monsin na aftrek van de waterbehoefte in België (35 m³/sec), de waterbehoefte van scheepvaart, doorspoeling en verversing (25 m³/sec) en de waterbehoefte van de landbouw ter grootte van 30 m³/sec over de periode 1 april tot 1 oktober.

Dit betekent dus dat na aftrek van de waterbehoefte in België, de onttrekking van Maaswater voor de voorziening in de waterbehoefte van bevolking en industrie respectievelijk eerste, tweede en derde prioriteit geniet.

Voor genoemde drie gevallen is de beschikbaarheid van Maaswater geanalyseerd voor het zeer droge jaar. Afbeelding 1 toont hoe deze analyse heeft plaatsgevonden.

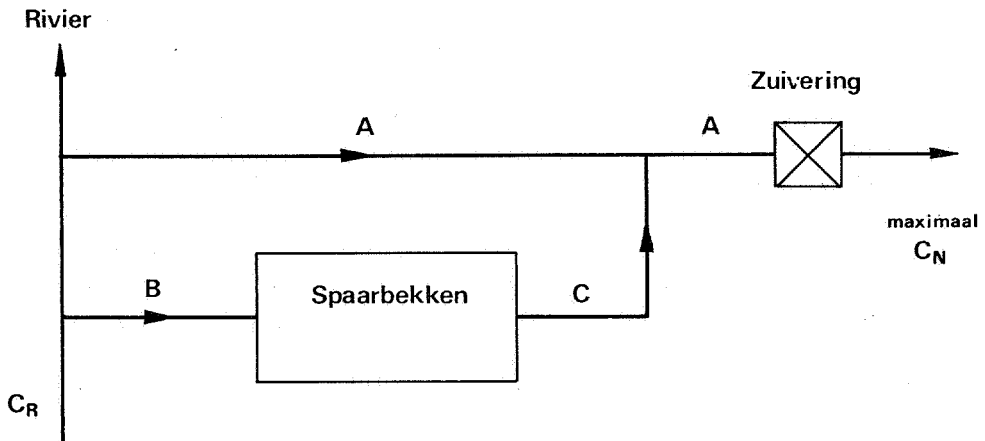
Uitgangspunt voor Limburg zal zijn dat de plannen moeten berusten op een in kwantitatief opzicht naar behoren functionerende drinkwatervoorziening, zelfs in het zeer droge jaar. Indien de drinkwatervoorziening binnen het behoeft patroon eerste prioriteit geniet, dan zal een voorraadvorming van 80 dagen voldoende zijn. Bij een produktie van 120 miljoen m³ per jaar is dan een totale reserve-inhoud van 26 miljoen m³ vereist. Indien de aanlegkosten hiervan op f 2,50 per m³ worden gesteld leidt dit tot een investering van 65 miljoen gulden. Worden de lasten op 10% per jaar gesteld, dan betekent dit dat het reservoir de kostprijs van het water met 5 ct/m³ zal belasten. Indien echter de inname van Maaswater voor de drinkwatervoorziening derde prioriteit geniet, zal een voorraadvorming van 240 dagen nodig zijn en de kosten van dit reservoir belasten het water met ca. 15 ct/m³. In de praktijk zullen deze kosten door bouwrente, aanvankelijke overcapaciteit etc. nog aanmerkelijk hoger liggen. Zij het globaal, toch geeft deze berekening de orde van grootte aan waarover wij spreken. Hoe de financieel-economische aspecten liggen bij de landbouw en de scheepvaart kan ik niet beoordelen, zij zullen van grote betekenis zijn bij de belangenafweging waarvoor de waterbeheerder komt te staan. Het behandelde voorbeeld was eenvoudig en slechts bedoeld om een eerste inzicht te verkrijgen van de problemen waarvoor wij ons zien gesteld. Naarmate wij meer stroomafwaarts komen, worden de vraagstukken overigens ingewikkelder.

4. VOORRAADVORMING BIJ GEBRUIK VAN RIJNWATER

Zoals eerder werd gesteld kan het chloridegehalte van het Rijnwater als parameter voor de kwaliteit worden gekozen. Uitgaande van verschillende waarden van de kunstmatige chloridebelasting van de Rijn en van verschillende waarden van het

maximaal gewenste chloridegehalte van het af te leveren water, zal de omvang van de voorraad worden bepaald voor een droog jaar.

De exploitatie van spaarbekkens kan op velerlei manieren plaatsvinden. Hier zal voor de Rijn als voorbeeld worden gekozen een exploitatiewijze waarbij de gehele bedrijfsvoering wordt ondergeschikt gemaakt aan de wens een van tevoren gekozen chloridegehalte C_N in het af te leveren water niet te overschrijden. Aangenomen is dat het spaarbekken slechts wordt gevuld in perioden dat het chloridegehalte van het Rijnwater C_R kleiner dan wel gelijk is aan C_N . In deze perioden wordt voorts aangenomen dat het water rechtstreeks, dus buiten het reservoir om, naar de zuivering kan worden gevoerd. In perioden dat het chloridegehalte C_R groter is dan C_N wordt dit water met het water uit het spaarbekken gemengd, en wel zodanig dat op ieder ogenblik het chloridegehalte van het naar de zuivering gevoerde water gelijk is aan C_N . Ter verduidelijking is deze wijze van bedrijfsvoering schematisch in afbeelding 2 aangegeven.



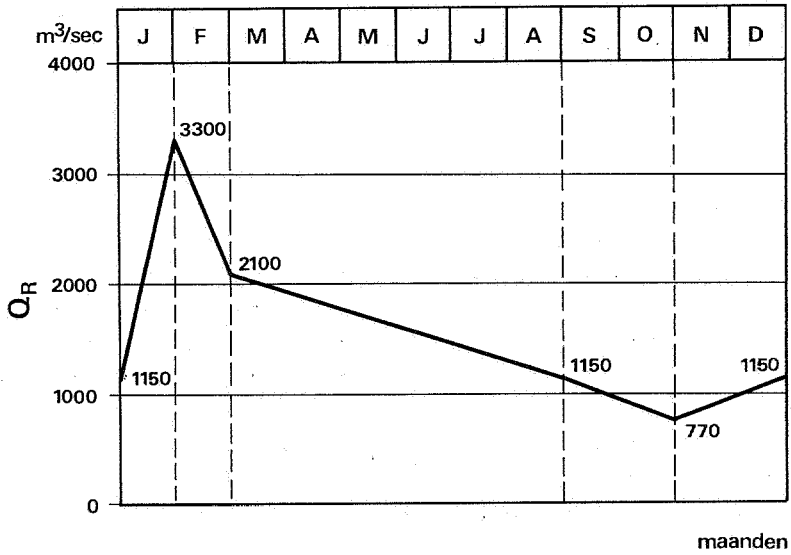
$C_R < C_N$, bedrijfslijnen A en B

$C_R > C_N$, bedrijfslijnen A en C

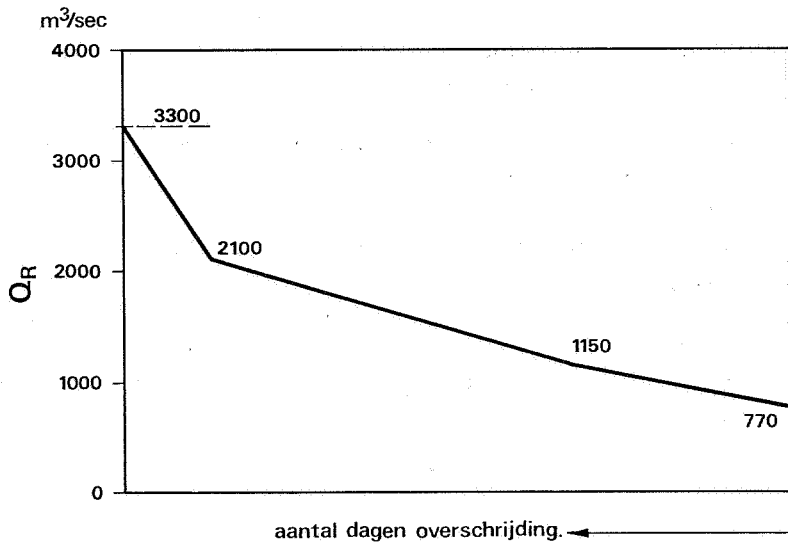
Fig. 2. Gekozen schema van de bedrijfsvoering met een spaarbekken.

Als uitgangspunt zal nu worden gekozen, dat ook in een droog jaar aan de te stellen wensen ten aanzien van het chloridegehalte van het af te leveren water zal kunnen worden voldaan.

Afbeelding 3 geeft de karakteristiek van de Rijnafvoer in een droog jaar, afbeelding 3A chronologisch en afbeelding 3B cumulatief.



A. Schematische weergave van de afvoer van de Rijn te Lobith in een droog jaar.



B. Cumulatieve frequentielijn van de afvoer van de Rijn te Lobith in een droog jaar.

Fig. 3. Karakteristiek van de Rijnafvoer in een droog jaar.

Zoals bekend wordt de relatie tussen de waterafvoer van de Rijn te Lobith en het chloridegehalte aldaar bij benadering beschreven door de formule:

$$C_R = C_N + \frac{A}{Q_R}$$

In deze formule is C_R het chloridegehalte van de Rijn te Lobith, C_N het natuurlijk chloridegehalte, A de kunstmatige chloridebelasting en Q_R de waterafvoer van de Rijn te Lobith. Het "natuurlijk" chloridegehalte is gesteld op 20 mg/l.

Voor verschillende waarden van de kunstmatige chloridebelasting A kan de cumulatieve frequentielijn van de afvoer van de Rijn te Lobith in een droog jaar, worden omgezet in een karakteristiek van het chloridegehalte voor het droge jaar. Zie afbeelding 4.

Afbeelding 4 geeft een beeld voor een kunstmatige chloridebelasting oplopend van 100 kg/sec tot 400 kg/sec. Geen rekening is gehouden met de wel waargenomen terughouding van zout bij lage Rijnafoeren. Voor ons doel zijn de met een streeplijn aangegeven verlopen geschematiseerd tot het met volgetrokken lijnen weergegeven beeld.

Afbeelding 5 geeft een schematisch beeld van één der frequentielijnen van het chloridegehalte te Lobith. De aangegeven grootheden kunnen als volgt worden gedefinieerd:

- C_R = het chloridegehalte van het Rijnwater;
- C_0 = het chloridegehalte van het Rijnwater ten tijde $t = 0$;
- C_T = het chloridegehalte van het Rijnwater ten tijde $t = T$;
- C_N = maximaal chloridegehalte in het af te leveren water.

Eerder werd de bedrijfsvoering met het spaarbekken reeds kort beschreven. Het spaarbekken wordt alleen gevuld indien C_R kleiner dan wel gelijk is aan C_N .

Dit is het geval in de periode a.

C_S = het gemiddelde chloridegehalte van het water in het spaarbekken, bereikt in de periode a.

Tijdens de periode b is C_R groter dan C_N . Door menging van $x\%$ spaarbekkenwater met $y\%$ rivierwater wordt bereikt dat het afgeleverde water in de periode b steeds een chloridegehalte C_N zal hebben. Om dit te bereiken is een spaarbekkeninhoud nodig gelijk

$$V = 1 - \frac{C_N - C_0}{C_T - C_0} - \frac{C_N - C_S}{C_T - C_0} \cdot \ln \frac{C_S - C_T}{C_S - C_N}$$

Met behulp van deze formule is bij verschillende waarden van de kunstmatige chloridebelasting van de Rijn (A) en verschillende waarden van C_N de nodige inhoud

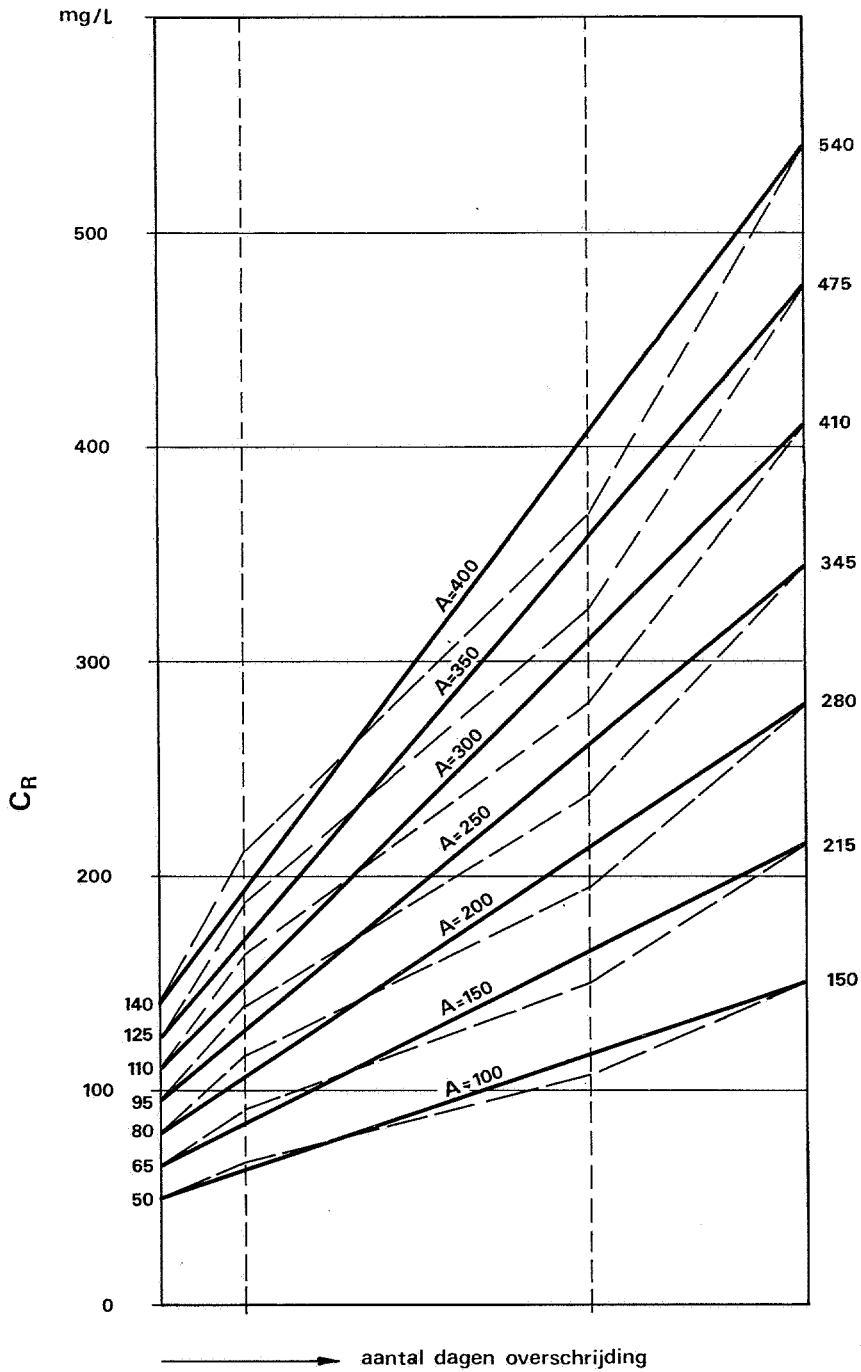


Fig. 4. Karakteristiek van het chloridegehalte van de Rijn bij Lobith in een droog jaar bij verschillende waarden van de kunstmatige chloridebelasting A (kg/sec).

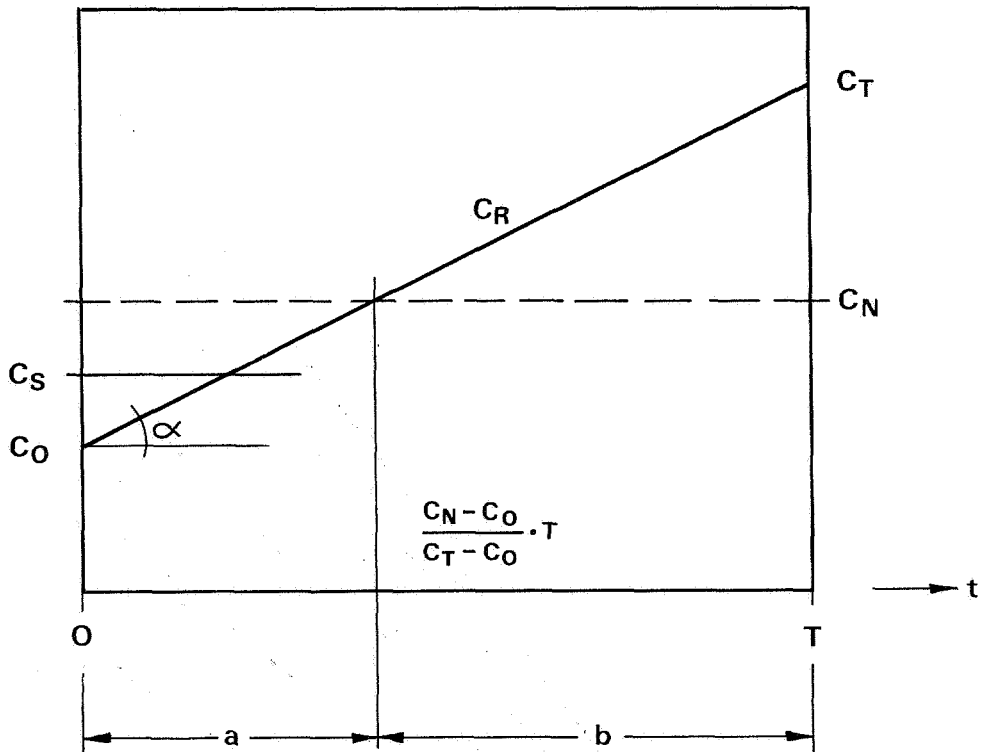


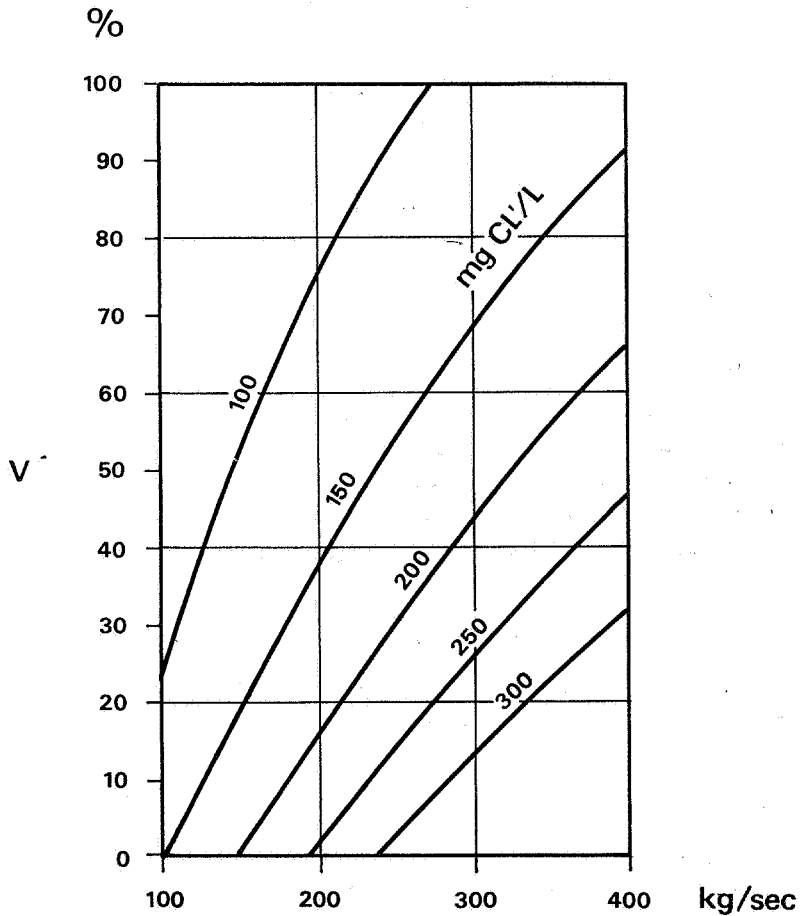
Fig. 5. Schematische aanduiding van een cumulatieve frequentielijn van het chloridegehalte.

van het spaarbekken berekend. De resultaten van de berekeningen zijn aangegeven in afbeelding 6.

In deze afbeelding kan worden afgelezen hoe groot de spaarbekkeninhoud (V) zal moeten zijn indien in het droge jaar een te kiezen maximaal chloridegehalte niet mag worden overschreden. De huidige kunstmatige chloridebelasting kan worden gesteld op 300 kg/sec. Indien wij in een droog jaar een chloridegehalte van 150 mg/l niet willen overschrijden is een spaarbekkeninhoud van 70% van de jaarproductie noodzakelijk.

Het bovenstaande moet worden beschouwd als één van de mogelijkheden waarop de voorraden kunnen worden berekend, zonder absolute waarde aan de uitkomsten toe te kennen.

Ik hoop u een indruk te hebben gegeven op welke wijze de globale omvang van de werken, opgenomen in het structuurschema, zijn vastgesteld.



A

Fig. 6. Nodig volume V van het spaarbekken, in procenten van de jaarproduktie, in relatie tot de kunstmatige chloridebelasting A , bij verschillende waarden van het gewenste maximale chloridegehalte in het afgeleverde water C_N .

LITERATUUR

- 1969—De toekomstige drinkwatervoorziening van Nederland, Staatsuitgeverij's Gravenhage.
- MARTIJN, TH. G. 1972—De schade aan de openbare watervoorziening door de kunstmatige chloride belasting van de Rijn, *H₂O* (5), nr. 21.

V. KUNSTMATIGE INFILTRATIE

A. J. ROEBERT

Gemeentewaterleidingen Amsterdam

SUMMARY

ARTIFICIAL RECHARGE

1. INTRODUCTION

- If public water supplies in this country are to be safeguarded, storage — and preferably storage in an aquifer — is essential.
- This method of storing water demands specific conditions of the areas in which it is applied, so its possibilities are restricted.
- There are various reasons why artificial recharge is applied.

2. ARTIFICIAL RECHARGE IN THE COASTAL DUNES NEAR ZANDVOORT

- Practical aspects of artificial recharge and the clogging that occurs.
- Distribution of the retention time in the subsoil.

3. ARTIFICIAL RECHARGE IN THE VELUWE AREA

- Geological and hydrological investigations.
- Pilot tests in recharge tanks.
- Layout of works on the recharge site.

4. COMPARISON BETWEEN RECHARGE IN THE VELUWE AREA AND IN THE COASTAL DUNES

1. INLEIDING

In het geheel van de lezingen van de 29e Technische Bijeenkomst is de kunstmatige infiltratie opgenomen als één van de methoden tot voorraadvorming. Dit geeft reeds aan hoezeer de doelstellingen van de kunstmatige infiltratie in Nederland zijn veranderd. Immers de grote infiltratiewerken in duinen zijn aangelegd met als hoofddoel de verbetering van de kwaliteit van het rivierwater.

De voortgaande onderzoeken in duinen en de plannen ten aanzien van de Ve-

luweinfiltratie maken het op dit ogenblik zinvol een aantal resultaten van dat onderzoek te melden. Niet alleen de doelstellingen zijn gewijzigd ook de werkwijze bij de voorbereiding is veranderd. De werken van de duininfiltratie zijn ontworpen door relatief weinig mensen. Thans buigen een veel groter aantal onderzoekers van velerlei disciplines zich in teamverband over de plannen. Bij de voorbereiding van deze lezing stond dan ook een grote hoeveelheid materiaal ter beschikking, waaruit een keuze gemaakt kon worden. De spreker mag de tolk zijn, die voor de Commissie Hydrologisch Onderzoek TNO enige nieuwere inzichten toelicht.

Als doelstellingen van de kunstmatige infiltratie in het algemeen kunnen genoemd worden de *kwaliteitsverbetering* van het geïnfiltreerde water. Deze kwaliteitsverbetering heeft twee aspecten, nl. verbetering door chemische, fysische en bacteriologische processen in de ondergrond en door afvlakking van kwaliteitsverschillen door menging. Deze menging treedt slechts in zeer geringe mate in de bodem op doch veel meer als gevolg van de spreiding van de verblijftijden. De *voorraadvorming* ten behoeve van de (drink)watervoorziening is voor de Veluwe-infiltratie een van de hoofddoelen. De methode met voorraadvorming wordt in Engeland ook gebruikt voor rivierregulatie. Wateroverschotten worden in de winter tot infiltratie gebracht en in de zomer weer opgepompt om de afvoer van de rivieren niet te laten dalen onder een minimaal gewenste hoeveelheid. O.a. bij irrigatieprojecten wordt kunstmatige infiltratie toegepast om *water te transporteren* via de ondergrond naar de verbruikers. Deze toepassing is ook aan te duiden als een vergroting van de leveringscapaciteit van het desbetreffende systeem. De laatst te noemen doelstelling van de methode is het terugdringen of *terughouden van zout grondwater*, dat onder invloed van de zoetwaterwinning wordt aangetrokken.

De term kunstmatige infiltratie is tamelijk beperkt ten opzichte van wat er mee uitgedrukt wil worden. Er is sprake van infiltratie, dat is slechts het binnendringen van water in de grond. Het is duidelijker te spreken van kunstmatige grondwateraanvulling, zoals dat o.a. in het Engels gebruikelijk is: *artificial recharge*, *artificial replenishment*. De term, kunstmatige infiltratie, is echter zo ingeburgerd dat deze ook in het vervolg zal worden gebruikt.

Tot slot van deze inleiding worden enige specifieke eisen vermeld die gesteld moeten worden aan een infiltratie- tevens voorraadgebied ten behoeve van de drinkwatervoorziening.

1. De ondergrond moet redelijk doorlatend zijn.
2. Bij voorkeur moeten geen storende weerstandslagen aanwezig zijn.
3. Het oorspronkelijke grondwater moet van redelijke kwaliteit zijn; hierdoor wordt voorkomen dat eerst gedurende lange tijd het pakket moet worden schoongespoeld, voor zover dat al mogelijk is.
4. In verband met de voorraadvorming zal de grondwaterstand vrij diep moeten liggen.

5. Er moet een redelijke bescherming mogelijk zijn tegen verontreiniging van het watervoerende pakket.

Als meer afgeleide eisen kunnen de volgende worden genoemd:

6. Voldoende terreinen moeten beschikbaar zijn op een centraal gelegen plaats.
7. De beïnvloeding van andere bestemmingen van de terreinen moet zo gering mogelijk zijn.
8. Om de bescherming van de terreinen te effectueren en de invloed van de stijgende en dalende grondwaterstanden gering te doen zijn, zullen uitgestrekte gebieden nodig zijn, die voor het grootste deel in het geheel niet en voor een ander deel slechts ten dele aan de huidige bestemming behoeven te worden onttrokken.

In het vervolg van de lezing zijn aan de orde geweest een aantal ervaringen in het duingebied van de Gemeente Amsterdam nabij Zandvoort en voorts een aantal aspecten van de plannen ten aanzien van infiltratie in de Veluwe. Ook de daartoe opgerichte proefinstallatie wordt besproken. Een vergelijking van de kunstmatige infiltratie in de duinen en op de Veluwe voor zover het een aantal technische aspecten betreft is besproken in het vierde deel van de lezing.

2. KUNSTMATIGE INFILTRATIE IN DE DUINEN NABIJ ZANDVOORT

De infiltratie van rivierwater in de duinen nabij Zandvoort is gestart in 1957, nadat gedurende een groot aantal jaren op de grondwatervoorraad was ingeteerd of als men het zo wil zeggen, roofbouw was gepleegd. Voor andere duingebieden in Noord- en Zuid-Holland golden dezelfde overwegingen om tot infiltratie van oppervlaktewater over te gaan.

Deze overwegingen waren de volgende:

1. de verbetering van een aantal kwaliteitsparameters van het rivierwater;
2. de afvlakking van de schommelingen van de kwaliteit van het rivierwater;
3. de vergroting van de leveringscapaciteit van het gebied en het stoppen van de intering op de voorraad;
4. de verbetering van de hydrologische situatie t.a.v. verdroging en verzouting die door de intering op de voorraad was ontstaan;
5. De vorming van een voorraad.

2.1 *Het eerste infiltratiegebied*

Op figuur 1 is aangegeven een deel van het infiltratiegebied, genaamd het eerste infiltratiegebied, dat is aangelegd tussen 1953 en 1957. Op de figuur zijn aangegeven

de toevoersloten voor rivierwater, de infiltratiegeulen en de drains, waardoor het water wordt teruggewonnen. De terugwinning van het water geschiedt ook door directe stroming van een infiltratiegeul naar een randkanaal, zoals dat in de figuur door een onderbroken pijl is aangegeven. Het water uit de drains wordt via afvoerbuisleidingen en een uitmondingsbak (U-bak) op een randkanaal gebracht en daardoor

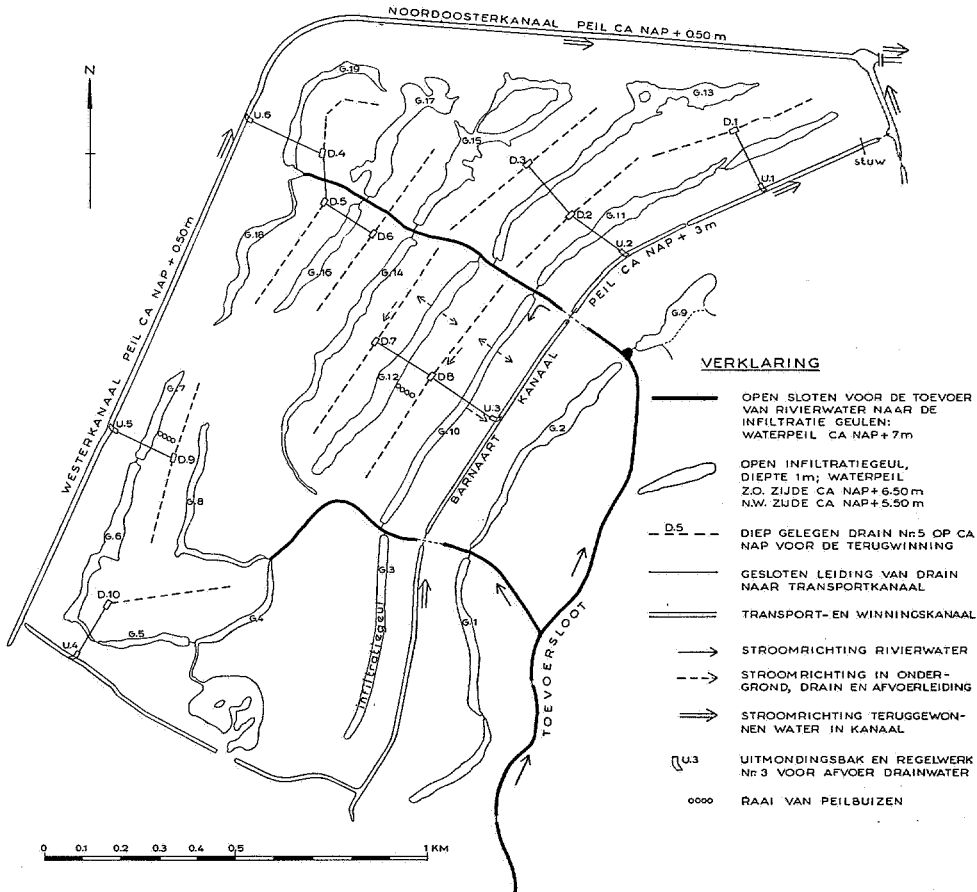


Fig. 1. Situatie 1e infiltratiegebied

afgevoerd naar het laagstgelegen punt in het gehele systeem, de Oranjekom (niet in de fig.), vanwaar het water wordt opgepompt en naar de zuivering gevoerd. Het rivierwater doorloopt het systeem via de toevoersloten, de ondergrond, de drains etc. onder eigen verhang.

Van het eerste infiltratiegebied kunnen de volgende specificaties worden gegeven:

(afgeronde cijfers)

Oppervlakte 1e infiltratiegebied	215	ha
Oppervlakte infiltratiegeulen	30	ha
Lengte van de drains	4570	m
Aantal uitmondingsbakken	6	
Lengte van begrenzend winnings- c.q. randkanalen	7	km
Maximum winningscapaciteit van de drains	50.000	m ³ /etm.
Maximum winningscapaciteit van de randkanalen	39.000	m ³ /etm.
Totale capaciteit 1e infiltratiegebied	89.000	m ³ /etm.

“voorraad-60” = de hoeveelheid die gedurende 60 dagen maximaal kan worden onttrokken aan het 1e infiltratiegebied als de aanvoer van rivierwater gestagneerd is 10 à 15.000 m³/etm.

Ten aanzien van de voorraad kan worden opgemerkt dat de echte infiltratiegebieden, zoals het hierboven beschreven eerste infiltratiegebied, weinig voorraad hebben ten opzichte van de capaciteit. De beperking wordt mede gegeven door de onderlinge ligging van de infiltratiegeulen en de drains. Om toch een grotere overbruggingsperiode te bereiken in gevallen van gestagneerde aanvoer van rivierwater zijn in de jaren 1961 tot 1965 voorraadgebieden aangelegd, die zowel open als gesloten berging hebben.

2.2 *Spreiding van de verblijftijden*

Over een aantal overwegingen, genoemd in de aanhef van dit hoofdstuk is o.a. gepubliceerd door de Wirdu (1969). Over de hydrologische aspecten van het bedrijf van de infiltratie is nog weinig gepubliceerd. Onlangs is een uitvoerige studie uitgevoerd door Dofferhoff (1972) over de spreiding van de verblijftijden van het rivierwater in de ondergrond van de duinen van Gemeentewaterleidingen nabij Zantvoort. Daarbij is het chloride-ion als een tracer gebruikt, die reeds in het water aanwezig is. In eerste aanleg is daartoe vergeleken het chloride-ion gehalte van het ingevoerde en van het onttrokken water in de te onderscheiden delen van het infiltratiegebied.

Voorts is door analyse van het stroombeeld tussen geul en drain, o.a. met behulp van een elektrisch analogon de volgende relatie gevonden:

$$Cl_U(t) = \frac{5}{11} Cl_{vv} \left(t - 6 \cdot \frac{10}{a_1} \right) + \frac{3}{11} Cl_{vv} \left(t - 12 \cdot \frac{10}{a_2} \right) + \frac{3}{11} Cl_{vv} \left(t - 20 \cdot \frac{10}{a_3} \right),$$

waarin,

$Cl_U(t)$ = het chloride-ion gehalte van het water in de U -bak ten tijde t ;

$Cl_{vv} \left(t - 6 \cdot \frac{10}{a_1} \right)$ = het chloride-ion gehalte van het rivierwater in de verdeelvijver bij de inlaat van het duingebied ten tijde $6 \cdot \frac{10}{a_1}$ weken vóór het tijdstip t ;

a_1 = is gemiddelde levering van de U -bak in m^3/m' drain/etmaal in de periode $6 \cdot \frac{10}{a_1}$ weken vóór het tijdstip t ;

a_2 en a_3 = idem doch resp. $12 \cdot \frac{10}{a_2}$ weken en $20 \cdot \frac{10}{a_3}$ weken.

Omdat de afstanden tussen hart geul en drain vrijwel steeds 80 m bedragen en het kopeffect van de geulen hier van ondergeschikt belang is, is te verwachten dat dit verband ook voor andere delen van het infiltratiegebied geldig is. Dit nu is gecontroleerd voor iedere afwateringseenheid van het infiltratiegebied. Voor het gebied van de U -3 zijn de met de bovenstaande formule berekende en de gemeten waarden in figuur 2 weergegeven. De andere niet weergegeven figuren geven ten dele een fraaiere en ten dele een minder fraaie overeenkomst te zien. De verblijftijdsverdeling van het rivierwater bij een thans gebruikelijke (geval I) en bij de maximale capaciteit (geval II) van het systeem zijn vermeld in de onderstaande tabel.

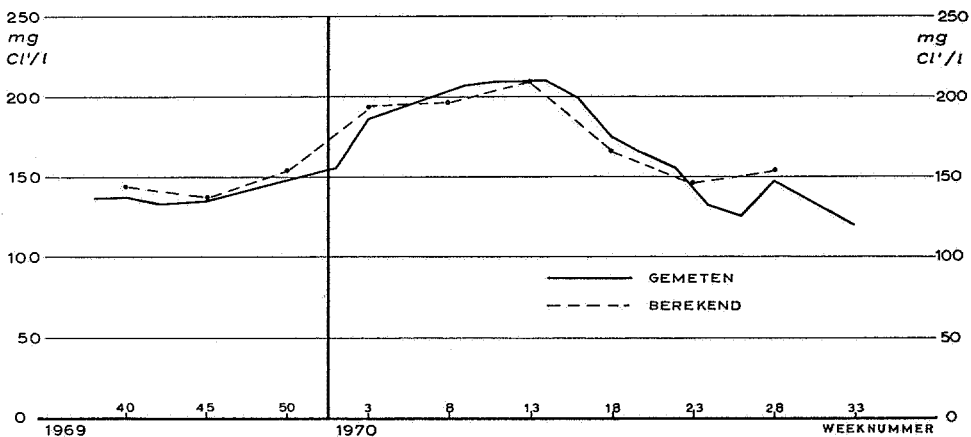


Fig. 2. Het gemeten en berekende Cl' -iongehalte van het water in uitmondingsbak 3

Volledigheidshalve zij opgemerkt dat in de formule een verband is gelegd tussen het chloride ion-gehalte in de verdeelvijver en in de uitmondingsbak; hierbij is aan de hand van berekeningen de verblijftijd in de toevoersloten en de infiltratiegeulen een vaste waarde toegekend van één week.

Om de *verblijftijd in de ondergrond* te verkrijgen dienen de berekende verblijftijden met één week te worden verminderd.

Tabel 1

Geschematiseerde verdeling van de verblijftijd van het rivierwater tussen de binnenkomst in de winplaats en de terugwinning in de uitmondingsbak.

Verdeling van de verblijftijd	I	II
	6 m ³ /m' drain/etm.	10 m ³ /m' drain/etm.
46 %	10 weken	6 weken
27 %	20 weken	12 weken
27 %	33 weken	20 weken

Op basis van de gegevens in de tabel bedraagt de gemiddelde verblijftijd van het rivierwater in de ondergrond in geval I 17,9 weken en in geval II 10,4 weken. De gemiddelde verblijftijd is ook

$$T = \frac{L \cdot D \cdot \mu}{Q}$$

waarin:

- T = de gemiddelde verblijftijd;
- L = de horizontale afstand tussen hart geul en hart drain;
- D = de dikte van het watervoerend pakket dat aan de stroming deelneemt;
- Q = de hoeveelheid water die per tijdseenheid het profiel doorstroomt (eezijdig);
- μ = het effectieve poriëngehalte.

De basis van het watervoerende pakket waarin geïnfiltreerd wordt, is zeer moeilijk af te leiden uit de bestaande boringen. Het diepere deel van het pakket bestaat uit een afwisseling van dunne zand- en kleilagen. Uitgaande van een aantal bekende waarden kan de dikte D worden berekend.

De afstand $L = 80$ m, $Q = 5$ m³/m' drain/etm. (eezijdig) bij $T = 10,4$ weken en μ kan op 0,3 à 0,35 gesteld worden. Hieruit volgt dat D is gelijk aan 15 à 13 m.

Deze waarde is ook op andere wijze (Engelen en Roebert, 1973) vastgesteld. Het blijkt dat het watervoerende pakket minder dik is dan veelal werd aangenomen. Op grond van deze berekeningen is de basis van het pakket waarin geïnfiltrerd wordt, gelegen op ca NAP -8 à -10 m. Een definitieve uitspraak kan thans nog niet worden gedaan.

2.3 *Kontrolle op de gevonden relatie*

Met de door Dofferhoff ontwikkelde formule wordt de relatie gegeven tussen het chloride-ion gehalte van het water dat de ondergrond ingaat en dat er uitgaat. Het was intrigerend om na te gaan op welke wijze de verblijftijdsverschillen tot stand komen. Daartoe is tussen infiltratiegeul 12 en drain 8 op vier plaatsen een boring gemaakt, die ieder met 7 peilbuizen zijn afgewerkt, zie ook figuur 1. Het soms sterk variërende chloride ion-gehalte van het rivierwater is wederom als tracer gebruikt om de verblijftijdsverdeling in de ondergrond na te gaan. Dit onderzoek is nog niet afgesloten en de interpretatie van de gemeten waarden blijkt erg gecompliceerd te zijn. Ook kan het vermoeden worden uitgesproken dat het door inhomogeniteiten in de ondergrond niet mogelijk zal zijn een overeenstemming te verkrijgen tussen de gegevens van een raai peilputten en die van het gehele intrekgebied van de U-3. Het onderzoek hiernaar wordt voortgezet.

2.4 *Schoonmaken van de infiltratiegeulen*

De infiltratie in het gebied vindt plaats met een snelheid van gemiddeld ca 0,25 m/dag; het rivierwater dat in de duinwaterwinplaats binnenkomt heeft veelal een slibgehalte van 1 à 2 mg/l, het ijzergehalte bedraagt gemiddeld (1972) 0,26 mg/l. Het fosfaatgehalte is hoog. Zonder nader op de verstopping, hetzij de mechanische, hetzij de biologische of de chemische verstopping in te gaan, zijn op figuur 3 aangegeven de jaren waarin de verschillende geulen zijn schoongemaakt.

Hierbij kan worden opgemerkt dat de schoonmaak van geulen niet regelmatig geschiedt, maar op een tijdstip dat past in de bedrijfsvoering. Zo heeft men in 1969 toen de inname van rivierwater gestaakt moest worden door een visvergiftiging op de Rijn de gelegenheid aangegrepen een aantal drooggevallen geulen schoon te maken. Dit geschiedt met behulp van een scraper die een dunne laag zand van de bodem schraapt en op de oevers deponeert. De kosten van de schoonmaak in 1973 hebben ca f 25.000,— bedragen.

2.5 *Slotopmerkingen*

Overziet men de overwegingen in het begin van dit hoofdstuk die hebben geleid tot het huidige systeem, dan blijkt dat in het bovenstaande vooral het een en ander

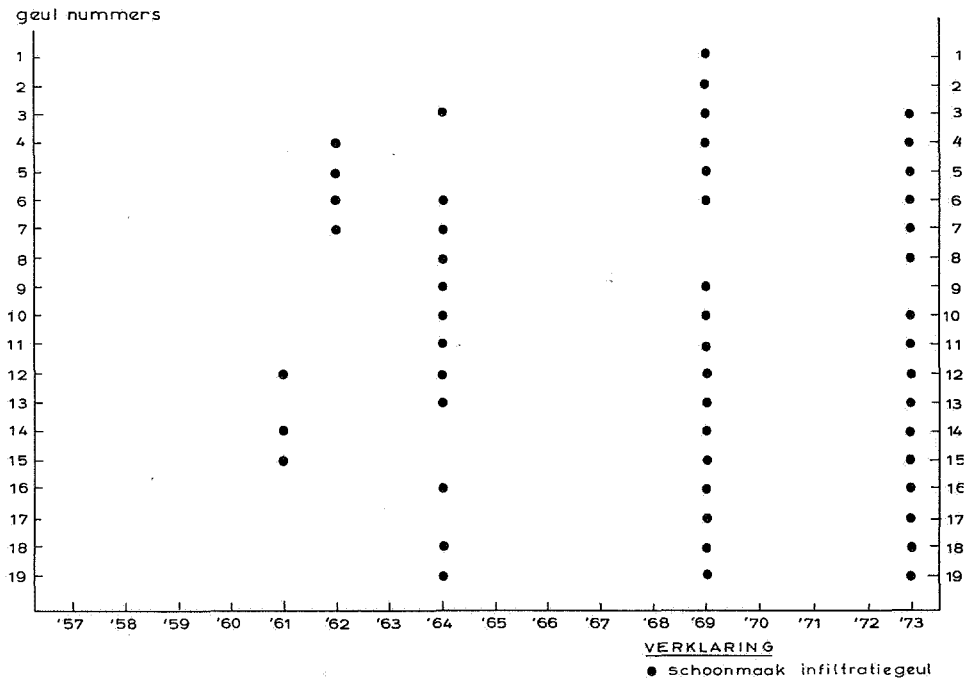


Fig. 3. Overzicht van de frekwentie van de schoonmaak van de geulen in het eerste infiltratiegebied door mechanische verwijdering van het toplaagje. De situatie van de infiltratiegeulen is gegeven in fig. 1

is meegedeeld over punt 2. Het is dit aspect t.w. de afvlakking van de kwaliteitspieken en daarnaast vooral de voorraadvorming die als belangrijkste overwegingen zullen blijven gelden voor de kunstmatige infiltratie. De verbetering van de kwaliteit van het rivierwater door infiltratie zal mogelijk wat op de achtergrond geraken door de betere voorzuivering die het rivierwater in Jutphaas zal ondergaan. Dezelfde overweging komt men ook weer tegen bij de hierna te bespreken plannen tot infiltratie in de Veluwe.

3. KUNSTMATIGE INFILTRATIE OP DE VELUWE

3.1 Geohydrologische aspecten

Doorloopt men de rij van specifieke eisen (zie inleiding) die de methode van kunstmatige infiltratie o.m. aan de geologische en hydrologische situatie van een gebied stelt, dan lijkt een groot deel van de Veluwe voor infiltratie in aanmerking te komen. De geologische onderzoeken die gedurende de laatste jaren zijn uitge-

voerd hebben wel aan het licht gebracht dat de opbouw van de Veluwe veel gekompliceerder is dan tevoren werd gedacht vooral als gevolg van de stuwning van de ijsmassa's in de ijstijd. Niet de gehele Veluwe is hierdoor in gelijke mate "geschubd". Het westelijke gedeelte is homogener van opbouw dan de hoge stuwwal aan de oostzijde. Een treffend voorbeeld daarvan vormt het geval van de bronbemaling die geïnstalleerd is geweest in de jaren 1966 tot 1968 bij de spoorwegkruising met de Chr. Geurtsweg te Apeldoorn. De capaciteit bedroeg 1000 à 1500 m³/h; met name de verlagingen in de omgeving van de bronbemaling weken sterk af van de op basis van een onderzoek voorspelde verlagingen. Het bleek dat de ondergrond waarschijnlijk door scheefgestelde kleilagen werd verdeeld in ongeveer Noord-Zuid verlopende compartimenten. Men behoeft hierbij niet zozeer te denken aan uitgestrekte geïsoleerde compartimenten, maar eerder aan een compartimentering die het gevolg kan zijn van een samenspel van onderbroken scheefgestelde kleilagen van geringe afmeting. Gekonstateerd is namelijk dat op 2000 m zowel ten N. als ten Z. van de bouwput de verlaging van de grondwaterstand ongeveer 1 m bedroeg, terwijl in de Oost-West richting op 1000 m een verlaging van ca 0,35 m werd gemeten (Stol, 1969). De scheefgestelde weerstandbiedende lagen van de aldus gevormde compartimenten kunnen aanleiding geven tot de vorming van grondwatersprongen. Een gedetailleerd onderzoek naar zo'n sprong is uitgevoerd door Wartena (1969) in de omgeving van Ughelen bij Apeldoorn op het terrein van de papierfabriek van Houtum en Palm.

Drs. E. Romijn heeft in zijn lezing over de gekompliceerde opbouw van de Veluwe ook het een en ander meegedeeld. De hierboven geciteerde gegevens zijn slechts bedoeld als illustratie en geven geenszins een volledig beeld. Onder de voorwaarde dat men plaatselijk een goede en uitvoerige geologische en hydrologische voorstudie uitvoert, is het te verwachten dat infiltratie in verschillende delen van de Veluwe tot goede resultaten kan leiden. Tot het onderzoek zal zeker een of meer langdurige pompproeven moeten behoren met een capaciteit zoals genoemd bij de bronbemaling te Apeldoorn. Slechts hierdoor zal het mogelijk zijn een gedetailleerd inzicht te verkrijgen in de aanwezigheid van eventuele weerstandslagen. De dikte van het doorlatende zandpakket is meer dan 200 m; het bovenste gedeelte hiervan nl. tussen het maaiveld en de grondwaterstand is niet verzadigd met grondwater. De dikte van deze onverzadigde zone bedraagt op vele plaatsen enkele tientallen meters; fluctuaties van een zo diep gelegen grondwaterstand over enkele meters als gevolg van kunstmatige infiltratie en terugwinning zal aan de oppervlakte ter plaatse geen invloed hebben op de vochtverdeling. Wel moet onderzocht worden in hoeverre de vochthuishouding aan de oppervlakte aan veranderingen onderhevig zal zijn nabij de infiltratiemiddelen en op grotere afstand waar de grondwaterstand dicht onder het maaiveld ligt, doch waar de fluctuaties in het algemeen niet veel zullen afwijken van de natuurlijke grondwaterstandsschommelingen.

3.2 *Natuurlijk en kunstmatig grondwater in de Veluwe*

Het grondwater van de Veluwe is veelal van uitstekende kwaliteit; het bovenste deel van het grondwater is vaak aëroob, zodat het opgepompte water van verschillende grondwaterpompstations zonder zuivering gedistribueerd kan worden. De zuurstofrijkdom van het (oorspronkelijk regen-) water duidt er op dat het zand geen oxydeerbare stoffen bevat, in tegenstelling tot het duinzandpakket waarin velerlei organisch materiaal voorkomt.

Het water in de diepere lagen is vaak anaëroob. Onderzocht zal moeten worden of hierbij de langere verblijftijd dan wel een andere samenstelling van het watervoerende pakket een rol speelt. Ook zal onderzocht moeten worden in hoeverre dit anaërobe water ook aan de stroming deelneemt. Bij de grotere grondwaterpompstations op de Veluwe is incidenteel in een aantal putten wel gekonstateerd dat zuurstofgehalte van het opgepompte water daalt bij voortgaande produktie. Voor iedere lokatie van een infiltratiegebied zal een dergelijk onderzoek moeten plaats vinden, alvorens tot realisering kan worden overgegaan. Het is duidelijk dat een inzicht in de zuurstofhuishouding van het watervoerend pakket van het grootste belang is voor de bedrijfsvoering. Het bepaalt immers de veranderingen die mogelijk ook kunnen optreden in het goed gezuiverde aërobe water dat geïnfiltreerd wordt. De goede voorzuivering is één van de uitgangspunten bij het opstellen van de plannen voor infiltratie. De redenen hiertoe zijn in de eerste plaats de wens het grondpakket niet te gebruiken als zuiveringshulpmiddel van het verontreinigde rivierwater. Hierdoor worden niet slechts de wat diepere lagen onveranderd gelaten doch zal ook de verstopping van de oppervlakte van het infiltratiebed zoveel mogelijk worden voorkomen. Het schoonmaken van de bodem van de infiltratiebassins wordt beperkt door een goede voorzuivering. Met beter voorgezuiverd water zal een kleiner bassin nodig zijn omdat hogere infiltratiesnelheden kunnen worden toegepast. Met name om een inzicht te verkrijgen in deze relatie is een proefinstallatie opgericht in de duinwaterwinplaats van de Gemeente Amsterdam te Bloemendaal mede omdat daar ter plaatse rivierwater en andere faciliteiten ter beschikking staan. De proef wordt uitgevoerd in de samenwerking krachtens een speurwerkovereenkomst tussen het Rijk en de VEWIN. De uitvoering van de proef is opgedragen aan het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening en wordt begeleid door de Commissie Proefinstallatie Infiltratie (CPI). In het ondervolgende zal een korte beschrijving worden gegeven van de proefinstallatie. Alvorens echter daartoe over te gaan zullen eerste enige ideeën omtrent de opzet van het infiltratie- en winningsbedrijf worden uiteengezet.

3.3 *Opzet van infiltratie- en winningsbedrijf*

Als eerste opzet kan worden gedacht aan de infiltratie in een lang kanaal en de terugwinning door twee daaraan evenwijdige winningsmiddelen. Bij een zeer grote

lengte van het infiltratiemiddel en van de terugwinningsmiddelen kan het stromingsbeeld in een twee-dimensionaal dwarsprofiel worden weergegeven. Een dergelijk geschematiseerd geval is in fig. 4 getekend. In fig. 4A is de stationaire stromingstoestand gegeven in de situatie dat het Veluwe-water in de ondergrond tussen de winningsmiddelen is vervangen door gezuiverd rivierwater. Buiten het gebied tussen de winningsmiddelen is nog geen verandering opgetreden. In deze situatie gaat geen infiltratiewater verloren en wordt geen oorspronkelijk water meer aangetrokken. Dit is alleen mogelijk als de uitgangsgroundwaterstand horizontaal is of als de infiltratie plaats vindt op een waterscheiding. Een belangrijke vereenvoudiging die nog is ingevoerd betreft de homogeniteit van het watervoerende zandpakket; gelet op het gestelde betreffende de geohydrologische aspecten is het duidelijk dat het hier weergegeven model zeker in de sterk geschubde en gecompartmenteerde delen van de Veluwe niet zonder meer mag worden gebruikt. Hoewel aan deze verschillende voorwaarden zelden zal worden voldaan, is het toch interessant deze schematisatie voort te zetten voor het geval van een stagnatie van de aanvoer b.v. door de kalamiteit op de rivier.

In fig. 4B is ook weergegeven de grondwaterstand aan het einde van een periode met gestagneerde rivierwateraanvoer. In deze periode wordt ingeteerd op de aanwezige voorraad gezuiverd rivierwater en ook wordt oorspronkelijk Veluwe-water aangetrokken. Ook in het gebied buiten de winningsmiddelen worden de grondwaterstanden verlaagd, op een afstand groter dan enkele kilometers vanaf het infiltratiegebied zullen de grondwaterstanden niet of zeer weinig worden beïnvloed. In fig. 4C tenslotte is de situatie geschetst die ontstaat na weer opvullen tot het niveau van de normale bedrijfsvoering. Buiten de winningsmiddelen is geen stroming meer aanwezig, wel is een beperkte zone daar nu gevuld met gezuiverd rivierwater. Hierdoor is het Veluwe-water dat op grotere afstand aanwezig is weer tot het oorspronkelijke niveau gestegen. Als nu een eventuele stagnatieperiode van gelijke duur als bij fig. 4B optreedt, zal bij het interen op de voorraad alleen maar gezuiverd rivierwater worden aangetrokken en geen Veluwe-water meer.

Een vergelijkbaar geval is uitgewerkt door Vermeer (1973) voor een vierkant gebied als geschematiseerd voorbeeld van kunstmatige infiltratie met lineaire verblijftijdverdeling. Door deze verblijftijdverdeling wordt een goede afvlakking verkregen van de verschillen in waterkwaliteit en watertemperatuur. De infiltratie vindt plaats langs de diagonalen van het vierkant en de terugwinning op de zijden. Ook in dit geval zal alleen bij een horizontale begingroundwaterstand geen verlies van geïnfiltriseerd water en geen aantrekken van oorspronkelijk grondwater optreden. Omdat meestal wel grondwaterstroming aanwezig zal zijn, is verder gezocht naar andere opstellingen van infiltratie- en terugwinningsmiddelen zodanig, dat geen infiltratiewater het infiltratiegebied verlaat en geen grondwater wordt aangetrokken. Door Vermeer (niet gepubl.) is deze opstelling gevonden in een cirkelvormige puttenrij

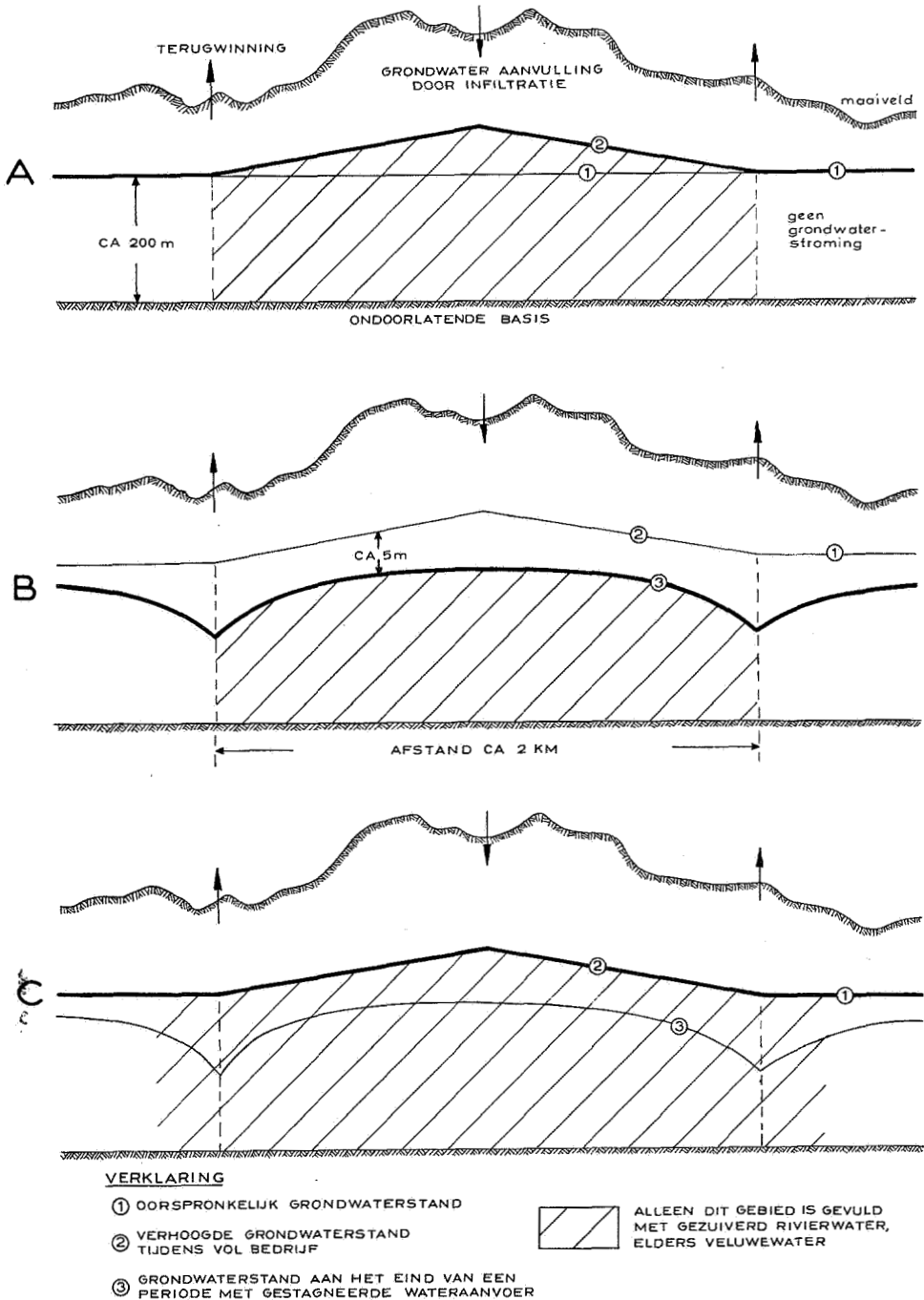


Fig. 4. Grondwaterstand in het infiltratiegebied bij normaal bedrijf (A), aan het einde van een periode met gestagneerde wateraanvoer (B) en na weer opvullen van de ingeteerde hoeveelheid (C), alsmede een indicatie omtrent het gebied dat op den duur zal zijn gevuld met gezuiverd rivierwater.

voor de terugwinning waarbij de infiltratie is gesitueerd in de cirkel doch excentrisch. Ook buiten de cirkelvormige puttenrij treedt stroming van gezuiverd rivierwater op, echter zodanig dat geen infiltraat verloren gaat. De verblijftijd verdeling kan wederom lineair zijn en ook bij tijdelijke stagnatie van de aanvoer kan aan de gestelde voorwaarden van scheiding van de watersoorten worden voldaan. De diameter van de cirkel is afhankelijk van de te kiezen gemiddelde verblijftijd van het infiltraat en zal liggen in de orde van 2 km voor een bedrijf van 100 miljoen m³/jaar.

Hiermede zijn nog slechts enkele voorbeelden gegeven van mogelijke opstellingen van de infiltratie- en winningsmiddelen. Vermeer (1973) geeft nog meerdere voorbeelden hiervan, terwijl zijn onderzoek nog voortgaat.

3.4 Proefinstallatie te Leiduin

In begin 1969 heeft de toenmalige Werkgroep Infiltratie Veluwe een voorstel ingediend bij de Directeur van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening tot de bouw van een proefinstallatie voor de Veluwe-infiltratie. Hierdoor zou inzicht verkregen kunnen worden in de vereiste voorbehandeling van het rivierwater, de te behalen infiltratiesnelheden en de daarbij benodigde schoonmaak van de infiltratiebassins. De capaciteit van de installatie zou zodanig zijn dat de infiltratie plaats zou kunnen vinden in infiltratiecilinders. Daardoor was men niet gebonden aan een lokatie in de Veluwe. Een geschikte oplossing is gevonden op een plaats waar rivierwater beschikbaar is, n.l. de duinwaterwinplaats van de Gemeente Amsterdam nabij Zandvoort, in de gemeente Bloemendaal. Van het begin af is het duidelijk geweest dat in de proefinstallatie slechts een deel van de infiltratieproblematiek zou kunnen worden bestudeerd en wel datgene wat zich afspeelt in de bovenste meters van het zandpakket. Wel wordt getracht zoveel mogelijk informatie te verkrijgen over de kwaliteit van het terug te winnen water. Ook om deze reden worden proeven uitgevoerd met verschillende soorten water die een oplopende graad van zuiverheid hebben. Hierdoor kan een inzicht worden verkregen in de processen die zich tijdens de infiltratie afspelen. Op basis van dit inzicht zal het mogelijk zijn een meer gefundeerde voorspelling te doen over de infiltratie van goed gezuiverd water.

De proefinstallatie is gebouwd in 1970 en 1971. De installatie bestaat uit twee delen: een voorzuiveringseenheid en een infiltratie-eenheid. (Hrubec, 1973). Als uitgangswater wordt gebruikt het water dat ten behoeve van o.a. Gemeentewaterleidingen vanuit het Lekkanaal te Jutphaas na snelfiltratie en veiligheidchloring wordt verpompt naar de duinwaterwinplaats. In de voorzuiveringseenheid worden drie watersoorten geproduceerd met een oplopende graad van zuiverheid die wordt bereikt door de genoemde zuiveringstrappen.

1. Breekpuntschloring, ontchlooring en beluchting;
2. breekpuntschloring, coagulatie in opwaartse filters, ontchlooring en beluchting;

3. breekpuntschlooring, coagulatie in opwaartse filters, ontchlooring, ozonisatie, secundaire ijzerdosering, dubbellaagsfiltratie.

Er bestaan plannen ook een koolfiltratie in het systeem op te nemen. De infiltratie-eenheid bestaat uit 6 infiltratiecilinders met een hoogte van 6,35 m en een diameter van 2 m. De cilinders kunnen door middel van een deksel worden afgesloten, zij zijn voorzien van monsterpunten en drukmetingspunten op verschillende hoogte waarbij het aantal monsterpunten afneemt met de diepte van het zandpakket. Tevens bestaat de mogelijkheid op verschillende hoogten een monster zand te steken. In de eerste opzet zijn 4 cilinders gevuld met Veluwezand en 2 met duinzand. De duinzandproeven hebben tot doel onder proefomstandigheden een indruk te verkrijgen van de invloed van verstopping van het infiltratie-oppervlak door resp. mechanische oorzaken en algengroei. De resultaten van de proeven zullen regelmatig worden gepubliceerd in H₂O als mededelingen van de Commissie Proefinstallatie Infiltratie (Hrubec, 1973). Tot slot van dit gedeelte zijn hieronder de doelstellingen van het onderzoek in de proefinstallatie nogmaals puntsgewijs bijeengezet.

1. Het verband tussen voorzuivering en infiltratie-snelheid;
2. de tijd tussen twee schoonmaakbeurten in afhankelijkheid van voorzuivering en infiltratiesnelheid;
3. de verstopping van het infiltratie-oppervlak en de eventuele diepere verstopping;
4. de kwaliteitsveranderingen van het water;
5. de onverzadigde stroming.

Het is zonder meer duidelijk dat de geschematiseerde opbouw van een proef als de onderhavige niet het antwoord kan geven op alle vragen betreffende de Veluwe-infiltratie. Enerzijds zal door studie en andere deelproeven het inzicht verdiept moeten worden en op basis van die gegevens zal besloten moeten kunnen worden tot het inrichten van een proefbedrijf in de Veluwe op een voldoende grote schaal.

4. VERGELIJKING TUSSEN DE KUNSTMATIGE GRONDWATERAANVULLING IN DE DUINEN EN IN DE VELUWE

Het is aantrekkelijk om voor een aantal *technische* aspecten een vergelijking te trekken tussen de bekende situatie in de duinen en een toekomstige situatie in de Veluwe. Het zal duidelijk zijn dat het niet mogelijk is en ook niet de opzet is om op deze manier een volledig beeld te schetsen van de kunstmatige grondwateraanvulling in de Veluwe.

4.1 Doel

Bij de duinen stond voor ogen een verandering van de chemische en fysische eigenschappen van het rivierwater tot die van grondwater op basis van de zuiveringscapaciteit van het duinzandpakket.

Ook de afvlakking van kwaliteitsverschillen en de voorraadvorming speelt een steeds belangrijker wordende rol. Bij de Veluwe wordt in eerste instantie gedacht aan de vorming van een goed te beschermen voorraad en de afvlakking van kwaliteitsverschillen van drinkwater dat uit rivierwater is bereid.

4.2 Infiltratiewater

In de duinen wordt oppervlaktewater geïnfiltreerd dat slechts een geringe voorzuivering heeft ondergaan. In de Veluwe zal water worden geïnfiltreerd dat zeer goed gezuiverd is.

4.3 Teruggewonnen water

Evenals het oorspronkelijke duinwater is het infiltraat na passage door de bodem anaëroob, het heeft ijzer en soms ook mangaan uit het duinzand opgenomen. De veenlagen die plaatselijk in het watervoerend pakket voorkomen laten hun sporen in het water na.

Het oorspronkelijke Veluwewater is veelal aëroob; in de diepere delen van het Veluwepakket komt echter ook anaëroob water voor. Er wordt naar gestreefd zodanig water op te pompen dat geen nazuivering meer nodig is. In hoeverre het diepere water en de diepere lagen van het Veluwepakket dit in de weg zullen staan dient nog nader te worden onderzocht.

4.4 Watervoerend pakket

Het duinzandpakket bevat veel organisch materiaal en er komen veel dunne kleilaagjes en enkele veenlagen voor. De dikte van het pakket bedraagt in de duinwaterwinplaats van Gemeentewaterleidingen 10 à 15 m, elders b.v. bij Katwijk is de dikte veel geringer. Het Veluwezand is zeer zuiver; de dikte van het pakket bedraagt ca. 200 m. Het doorlaatvermogen van het Veluwepakket is enkele tientallen malen zo groot als het duinzandpakket waarin wordt geïnfiltreerd.

4.5 De grondwaterstand

In de duinen was de oorspronkelijke grondwaterstand in lage delen vrijwel gelijk aan maaiveld. Door de waterwinning zijn verlagingen van maximaal enkele meters

geconstateerd, hetgeen met verdroging is gepaard gegaan (Londo 1966, 1 en 1966, 2). In de Veluwe ligt de grondwaterstand in de gebieden waarvoor een infiltratie wordt gedacht, dieper dan 10 m onder maaiveld. Het gevolg hiervan is dat door verhoging en verlaging van die diepe grondwaterstand een belangrijke voorraad kan worden aangelegd, c.q. aangesproken. Door de diepe ligging van de grondwaterstand zal hierdoor de vochthuishouding van de bovenste grondlagen op enige afstand van de infiltratiemiddelen geen veranderingen ondergaan.

4.6 *Uitgangssituatie*

De duininfiltratie is uitgevoerd in terreinen waar reeds gedurende vele tientallen jaren het duinwater werd gewonnen. In het ene geval meer dan in het andere geval heeft de situering van de bestaande winningsmiddelen een stempel gedrukt op de ligging en de vorm van de infiltratiewerken. In het geval van Gemeentewaterleidingen (hoofdstuk 2) is het zelfs de aanvankelijke opzet geweest alleen de bestaande winningsmiddelen i.c. de randkanalen te gebruiken voor de terugwinning van het kunstmatig geïnfiltreerde water (Gemeentewaterleidingen, 1948). Eerst later zijn ook drains voor terugwinning in het ontwerp opgenomen.

In het geval van de Veluwe is noch de plaats van de infiltratie, noch de vorm van de werken gebonden aan reeds bestaande werken. In technisch opzicht zijn daarvoor de mogelijkheden minder beperkt waardoor in grotere mate rekening kan worden gehouden met andere aspecten.

4.7 *Infiltratie-middelen*

In de duingebieden van de Duinwaterleiding van 's-Gravenhage en ook bij de Leidsche Duinwater Maatschappij te Katwijk is de vorm van de open infiltratie bassins zoveel mogelijk aangepast aan de bestaande topografie. Nabij Zandvoort en Castricum zijn door Gemeentewaterleidingen resp. het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland lange ca. 30 m brede open infiltratiegeulen gegraven. In de Veluwe kan eveneens gedacht worden aan infiltratie door middel van een open meer, danwel door middel van open of overdekte geulen.

In verband met de huidige stand van die techniek staat het nog te bezien in hoeverre infiltratie door middel van putten in aanmerking komt.

4.8 *Terugwinning*

In de duinen worden veelal horizontale terugwinmiddelen gebruikt t.w. drains en kanalen alsmede te Castricum en Katwijk ook verticale geboorde putten met geringe capaciteit. Door de diepe ligging van de grondwaterstand komen in de Veluwe slechts putten met een grote capaciteit in aanmerking.

4.9 *Infiltratie-snelheid en schoonmaak*

De infiltratie-snelheid in de Haagse duinen bedraagt gemiddeld ca. 0.10 m per dag. Volledigheidshalve zij opgemerkt dat de infiltratiesnelheid (= de darcysnelheid) de snelheid is waarmee de waterdeeltjes boven het infiltratiebed gemiddeld naar beneden bewegen. Bij Zandvoort is de infiltratiesnelheid gemiddeld 0,25 m per dag en in Castricum 0,50 m per dag. In de Haagse duinen is nog nooit een schoonmaak van de infiltratieplannen noodzakelijk geweest. Bij de andere bedrijven is eenmaal in de paar paar een schoonmaak geëffectueerd. Voor de Veluwe-infiltratie gaan de gedachten uit naar een infiltratiesnelheid die het tienvoudige is van hetgeen voor de duinen wordt aangehouden.

5. **BESLUIT**

De belangstelling voor het onderwerp kunstmatige infiltratie vloeit voort uit de plaats die de methode inneemt in de plannen voor de drinkwatervoorziening van de toekomst. In de duinstrook zal de infiltratie worden vergroot en geïntensiveerd, voorts wordt onderzocht of infiltratie in de Veluwe kan worden geëffectueerd. Dit zijn de enige gebieden in Nederland die de combinatie van kunstmatige infiltratie en gesloten voorraadvorming op voldoende grote schaal toelaten en die redelijk centraal liggen ten opzichte van de gebruiksgebieden.

De processen die een rol spelen worden voor een groot deel bepaald door de ondergrond, waarin het water wordt ingevoerd, getransporteerd en waaruit het weer wordt gewonnen. Er zal steeds een grondig onderzoek nodig zijn van de plaats van de infiltratie.

LITERATUUR

- BREEUWER, J. B. en
JELGERSMA, S.
DOFFERHOFF, P. K. 1973—An east-west geo-hydrological section across The Netherlands. *Verh. K.N.G.M.G. Vol. 29*, p. 105-106.
1972—Onderzoek naar de verblijftijden van het geïnfiltreerde rivierwater in de duinwaterwinplaats van de Gemeentewaterleidingen Amsterdam met 44 bijlagen, intern rapport.
- ENGELEN, G. B. en
ROEBERT, A. J. 1973—Chemical watertypes and their distribution in space and time in the Amsterdam dunewater catchment area with artificial recharge. *Journ. of Hydr.* in press.
- Gemeentewaterleidingen
HRUBEC, J. 1948—Rapport 1948, Watervoorziening van Amsterdam.
1973—Proefinstallatie voor infiltratie in Veluwe en duinen te Leiduin. *Mededelingen van de Commissie Proefinstallatie Infiltratie CPI.H₂O (6) nr. 22* p. 589-591.
- LONDO, G. 1966-1—Veranderingen in flora en vegetatie van het Lekwaterinfiltratiegebied in de duinen bij Zantvoort. *De Levende Natuur, Jaarg. 69*, afd. 6, p. 121-128.
- LONDO, G. 1966-2—De huidige flora van het infiltratiegebied bij Zandvoort in vergelijking met andere natte duinvalleien in heden en verleden.
- STOL, PH. TH. 1969—Use of computers for the investigation of the hydrologic properties of an area, exemplified with temporary drawdown of ground-water levels. Verspreide overdrukken I.C.W. no. 89 uit: *Intern. Comm. on Irr. and Drainage Bulletin July 1969*.
- VERMEER, P. A.— 1973—De situering van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen bij kunstmatige infiltratie. *H₂O (6), nr. 3* p. 58-65.
- WARTENA, L. 1969—Een grondwatersprong. *Tijdschrift Kon. Ned. Heidemij. 1969* pag. 222, e.v.
- BULTEN, B.,
LIPS, H. J. M.,
PUFFELEN, J. VAN en
WIRDU 1969—Kwaliteitsveranderingen bij infiltratie in de duinen. Rapport van de Werkgroep Infiltratie van Rivierwater in de Duinen.

VI. GEOHYDROLOGISCH ONDERZOEK IN VERBAND MET DE BOUW VAN SPAARBEEKKENS

G. A. BRUGGEMAN

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening

SUMMARY

HYDROGEOLOGICAL ASPECTS OF THE CONSTRUCTION OF STORAGE RESERVOIRS

Some aspects of analytical treatment of hydrogeological problems concerning reservoirs situated in or above aquifers, with or without horizontal semi-permeable layers, are dealt with, for example the calculation of the seepage from or towards the reservoirs and the determination of the variation of the groundwater levels as a consequence of changing levels in the reservoirs. Stress is laid upon two- and three-dimensional problems, taking into account vertical components of the groundwater velocity and of the anisotropy in two main directions of the aquifers. Solution of the partial differential equations by means of

1. *conformal transformation;*
2. *integral transformation;*
 - a. *Laplace transformation*
 - b. *Fourier transformation (sine, cosine, finite and infinite transformation)*
 - c. *Hankel transformation.*

1. GESTELDHEID VAN DE ONDERGROND

Het zal iedereen duidelijk zijn, dat de gesteldheid van de ondergrond van bijzonder groot belang is voor de bouw en exploitatie van spaarbekkens; hiermee bedoel ik niet alleen de geologische maar ook de geohydrologische gesteldheid. Immers een spaarbekken in exploitatie met zijn veelal wisselende peilen verstoort het oorspronkelijke grondwater regime en er zullen grondwaterstromingen op de bestaande worden gesuperponeerd.

2. HET BELANG VAN KENNIS VAN GRONDWATERSTROMINGEN

Nu is het noodzakelijk dat we reeds bij de planning van een reservoir een juist idee hebben van de grootte en van de richting van die door aanleg en exploitatie van

een bekken veroorzaakte grondwaterstromingen, zowel naar de plaats als naar de tijd; dit laatste vooral bijv. bij snelle vulling van een reservoir, waarbij de niet-stationaire stroming een rol kan gaan spelen. Waarom willen we die grondwaterstromingen van te voren zo goed kennen? Wel, in de eerste plaats om een inzicht te verkrijgen in de beïnvloeding van het grondwaterpeil in de omgeving met het oog op het veroorzaken van schade aan andere belangen en in de tweede plaats zullen we graag willen weten, wat voor kwel er gaat optreden bij verschillende peilen in het bekken, zowel uit kwantitatieve, kwalitatieve en constructieve overwegingen.

De kwantitatieve overweging speelt bijv. bij een hoog reservoirpeil t.o.v. het omringende waterpeil; de waterverliezen t.g.v. kwel uit het bekken mogen niet een on-economisch groot gedeelte van de jaarproductie bedragen. De kwalitatieve overwegingen zijn belangrijk bijv. bij een laag bekkenpeil; de hoeveelheid kwel naar het bekken toe is natuurlijk wel meegenomen, maar hoe zit het met de kwaliteit van het aangetrokken water? Tenslotte de constructieve overweging; de stabiliteit van de ringdijken en de taludbekledingen hangen ten nauwste samen met de grootte en richting van de kwelstroming.

3. HET VERKRIJGEN VAN KENNIS VAN DE GRONDWATERSTROMINGEN

Hoe verkrijgen we die kennis van de grondwaterstromingen? Het eerste wat gedaan moet worden is natuurlijk een onderzoek naar de geologie en de geohydrologie met de u allen wel bekende middelen zoals geo-elektrisch onderzoek, boringen, sonderingen, pompproeven, laboratoriumonderzoek van grondmonsters enz. enz. Dit vormt echter nog maar één, zij het zeer belangrijk gedeelte van het geohydrologische onderzoek, want zelfs een vrij gedetailleerd inzicht in het verloop van de watervoerende en weerstandbiedende grondlagen met bijbehorende grondconstanten zoals kD -, S - en c -waarden is nog niet voldoende om juiste voorspellingen ten aanzien van de opgewekte grondwaterstromingen te doen. Daarnaast moet ook bekendheid aanwezig zijn met de berekeningsmethoden welke voor verschillende gevallen moeten worden aangewend om de relatie vast te stellen tussen de geohydrologische en geografische gegevens enerzijds en de grootte en richting van de grondwaterstroming anderzijds.

4. DE BEREKENINGSMETHODEN

Over dit laatste onderdeel van het geohydrologisch onderzoek, de berekeningsmethoden, wil ik het graag met u vanmiddag hebben. Bij berekeningsmethoden moeten we direct al een splitsing maken tussen analytische berekeningen, numerieke berekeningen en berekeningen d.m.v. analogons. De numerieke en analoge berekeningen willen we vanmiddag laten voor wat ze zijn (nl. bijzonder belangrijk voor

de oplossing van gecompliceerde problemen mits die gecompliceerdheid in detail bekend is) en ons beperken tot analytische berekeningsmethoden. Ik wil hierbij terzijde de opmerking maken dat analytische oplossingen in dit computertijdperk beslist niet "uit de tijd zijn", integendeel zelfs, de computer is juist de oorzaak dat ingewikkelde analytische uitkomsten numeriek toegankelijk zijn geworden, waar ze voorheen niet of pas na eindeloze becijferingen hanteerbaar waren.

5. ANALYTISCHE OPLOSSINGEN

Vooraf bij minder gecompliceerde problemen, waarbij steeds een zekere mate van symmetrie aanwezig is en waarbij over grote delen met gemiddelde grondconstanten kan worden gewerkt, kunnen in een groot aantal gevallen analytische oplossingen worden verkregen, en dit aantal gevallen is veel groter dan de meeste geohydrologen denken. Die oplossingen in formulevorm met meer of minder parameters erin zijn, hoewel ze in de meeste gevallen op geschematiseerde gevallen betrekking hebben, welke meer of minder van de werkelijkheid zullen afwijken, toch bijzonder belangrijk, vooral omdat zij duidelijk de invloed van de variatie van de verschillende parameters op het stromingsbeeld laten zien. Met het oog op de methoden van analytische berekeningen kan onderscheid worden gemaakt in

- a) spaarbekkens in of op doorlatende ondergrond, waarbij horizontale semipermeabele lagen ontbreken;
- b) bekkens in of op doorlatende ondergrond met aanwezigheid van halfdoorlatende lagen.

6. HORIZONTALE EN VERTIKALE SNELHEIDSCOMPONENTEN

Om met de laatste categorie te beginnen: indien horizontale klei- of leemlagen de afscheiding vormen tussen watervoerende zand- of grindlagen kan veelal worden geschematiseerd tot stromingsproblemen, waarbij in de doorlatende pakketten alleen horizontale stroming en in de halfdoorlatende lagen alleen verticale stroming wordt verondersteld. Bij stationaire stromingen zijn deze problemen in wezen eendimensionaal of kunnen tot twee dimensionale axiaal symmetrische gevallen worden geschematiseerd, en indien zij betrekking hebben op een watervoerend pakket met een semi-permeabele laag, veelal gemakkelijk oplosbaar. Hebben we echter te maken met een zogenaamd meerlagen-probleem en bovendien nog met een niet-stationaire toestand, dan komen we er niet meer met het oplossen van een gewone lineaire differentiaalvergelijking en zijn andere technieken noodzakelijk, waarover zo dadelijk meer.

De eerste categorie, dus de reservoirs op of in dikke doorlatende pakketten zonder halfdoorlatende lagen, die dus zoals we dat noemen zeer onvolkomen zijn, leidt tot

twee- of driedimensionale problemen en we ontkomen er niet aan om deze problemen ook als zodanig te behandelen, dus in het geval van zo'n spaarbekken met inachtneming van de verticale snelheidscomponent van het grondwater. Echter, indien we dergelijke problemen met meer dan één dimensie willen behandelen, dan houdt dit in dat we partiële differentiaalvergelijkingen moeten oplossen en daar schuilt nu juist de grootste moeilijkheid, omdat de meeste hydrologen niet vertrouwd zijn met deze materie. Ik moet hierbij opmerken dat dit niet alleen geldt voor spaarbekkenproblemen, maar algemeen voor geohydrologische vraagstukken. Het zal iedereen duidelijk zijn dat behalve bij vraagstukken waar de onvolkomenheid een duidelijke rol speelt, ook bij infiltratie en bij het eventuele optrekken van brak water uit de ondergrond van een waterwinplaats, de verticale stromingscomponent beslist niet verwaarloosd mag worden.

7. ANISOTROPIE

Een belangrijke bijkomstigheid bij de inachtneming van de verticale stroming is nog de noodzaak rekening te houden met het veelvuldig in ons land voorkomende verschijnsel van de *anisotropie*, dat wil zeggen het voorkomen van verschillende doorlatendheden in verschillende richtingen, in dien zin, dat door de gelaagdheid van de ondergrond de horizontale doorlatendheid de verticale vele malen kan overtreffen. Indien in een dergelijk geval de anisotropie wordt verwaarloosd en de horizontale doorlatendheid gekozen wordt voor het gehele pakket, zouden we bijv. voor de kwel in een spaarbekken veel te ongunstige uitkomsten krijgen, omdat de aldus berekende verticale snelheden veel te hoog zouden uitvallen in vergelijking met de werkelijk optredende snelheden. Nu is het soort anisotropie waarop ik hier doel, nl. anisotropie waarvan de richtingen van de hoofddoorlatendheden samenvallen met de richtingen van de coördinaatassen, zoals meestal het geval is, niet om van te schrikken en heel simpel in de berekeningen mee te nemen. Door middel van een handige substitutie kan het verschil in doorlatendheid in de differentiaalvergelijking (d.v.) worden geëlimineerd zonder het karakter van die d.v. aan te tasten. Neem bijv. de d.v. voor twee-dimensionale niet-stationaire stroming:

$$K_x \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + K_z \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = S_s \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

Delen door K_x geeft met $a^2 = \frac{K_z}{K_x}$:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + a^2 \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = \frac{S_s}{K_x} \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

Substitueer $z = az_1$, dan wordt $\frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = \frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial z_1^2}$ en de d.v. wordt:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z_1^2} = \frac{S_s}{K_x} \frac{\partial \phi}{\partial t},$$

en dit is de "normale" d.v. voor isotrope grond met één doorlatendheid (de horizontale) voor alle richtingen: figuurlijk gesproken hebben we het grondlichaam in z-richting uitgerekte met een faktor $\frac{1}{a}$ (> 1 indien $K_z < K_x$).

De vraag rijst nu direct: we kunnen die anisotropie in de berekeningen nu wel de baas, maar kunnen we ze ook bepalen in het veld, want zo niet dan heb je aan je formules met K_x en K_z erin nog niet veel. Deze vraag kan bevestigend worden beantwoord: sinds kort is op het RID een methode uitgewerkt om door middel van een speciale niet-stationaire pompproef met behulp van een onvolkomen pompput en waarnemingsputten op verschillende diepten, de horizontale en verticale doorlatendheden te bepalen; de methode is reeds met redelijk succes toegepast.

8. DIFFERENTIAAL VERGELIJKING

Aan het begin van elke geohydrologische berekening staat de d.v. met randvoorwaarden en eventueel (bij niet-stationaire problemen) met beginvoorwaarde. Nu is het mij opgevallen dat in veel publicaties over geohydrologische vraagstukken steeds weer opnieuw voor elk probleem afzonderlijk de d.v. wordt afgeleid. Dit is niet nodig, want voor elk grondwaterstromingsprobleem, hoe ingewikkeld ook, geldt in principe dezelfde algemene d.v., nl.:

$$K_x \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} + F = S_s \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

(geldt voor drie-dimensionale niet-stationaire grondwaterstroming in homogene grond met anisotropie in 3 hoofdrichtingen)

waarin

ϕ = stijghoogte van het grondwater of de zakking of stijging van het grondwater t.o.v. de oorspronkelijke stijghoogte,

x , y en z = plaatscoördinaten t.o.v. een aangenomen rechthoekig assenkruis

t = tijd sinds een aangenomen aanvangstijdstip,

K_x , K_y en K_z = doorlatendheidscoëfficiënten in resp. x , y en z -richting,

S_s = specifieke bergingscoëfficiënt,

F = een functie van x , y en t welke aangeeft hoeveel water per volume-eenheid en per tijdseenheid aan de grond wordt toegevoerd of ontnomen ten gevolge van voeding of onttrekking.

Bij permanente grondwaterstromingen vervalt de term $S_s \frac{\partial \phi}{\partial t}$ en zonder injectie, onttrekking of voeding van elders ook de term F . De d.v. voor permanente stroming in homogene isotrope grond reduceert zich dan tot de d.v. van Laplace:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0$$

voor het drie-dimensionale geval.

Bij aanwezigheid van axiale symmetrie kan met vrucht gebruik worden gemaakt van cilindercoördinaten; de d.v. wordt dan:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0.$$

Is de stroming onafhankelijk van een van de drie asrichtingen dan ontstaat voor homogene isotrope grond in het stationaire geval de zogenaamde twee-dimensionale potentiaalstroming, welke beheerst wordt door de tweedimensionale d.v. van Laplace:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \quad \text{of} \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0$$

Alle hier genoemde d.v.'s zijn lineaire partiële differentiaal vergelijkingen en het grootste probleem daarmee is dat in tegenstelling tot gewone d.v. geen algemene oplossing met een of meer constanten kan worden gevonden. Een partiële d.v. moet tezamen met zijn begin- en randvoorwaarden worden opgelost. Er zijn echter zeer doeltreffende oplosmethoden bekend, waarvan ik er twee zal noemen.

9. METHODE VAN DE CONFORME TRANSFORMATIE

In de eerste plaats moet de zeer elegante methode van de conforme transformatie worden genoemd. Deze methode kan worden toegepast, indien het probleem een twee-dimensionale potentiaalstroming is, dus bijv. een lang recht spaarbekken in of op een dik watervoerend pakket. Zoals al vermeld wordt een dergelijk probleem beheerst door de d.v.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0$$

In veel handboeken over hydrologie wordt deze methode in principe behandeld, hoewel in het algemeen slechts een betrekkelijk gering aantal praktische oplossingen wordt gegeven. Een uitzondering hierop vormt het boek van Polubarinova-Kochina: "The Theory of Groundwater Movement". Ik wil wat betreft deze methode

volstaan met er de aandacht op te vestigen, dat bijna elk potentiaalstromingsprobleem in homogene pakketten met volkomen spanningswater met rechte grenzen en ook een aantal vraagstukken met betrekking tot freatisch water en zoet-zout scheidingsvlakken exact kan worden opgelost met behulp van deze complexe-vlak-methode en vooral de Schwarz-Christoffel- en hodograaf-variant daarvan.

10. DE INTEGRAAL-TRANSFORMATIEMETHODEN

Een nadeel van de methode der conforme transformaties is dat alleen stationaire twee-dimensionale problemen er mee kunnen worden opgelost. Zodra de tijd of een derde dimensie of voeding door een halfdoorlatende laag in het geding is, faalt de methode en moeten andere methoden oplossing bieden. Daaronder vallen dan, en die wil ik in de tweede plaats noemen, de zogenaamde integraal-transformatiemethoden.

Het principe van de integraal-transformaties is, dat door middel van een handige substitutie in integraalvorm één van de dimensies van de d.v. kan worden weggevoerd. Door deze procedure voort te zetten kan de partiële d.v. worden teruggebracht tot een gewone d.v. of zelfs tot een algebraïsche vergelijking, welke oplossing met behulp van de eveneens getransformeerde randvoorwaarden in het algemeen geen moeilijkheden zal opleveren. De aldus verkregen oplossing moet nu nog één of meer inverse transformaties ondergaan teneinde de gewenste oplossing van het probleem te verkrijgen.

11. TOEPASSING VAN DE INTEGRAAL-TRANSFORMATIEMETHODEN

Ik kan u uiteraard in dit halfuur geen volledige uiteenzetting geven van de vele soorten integraal-transformaties die er zijn, wanneer en hoe ze moeten worden toegepast en hoe de inverse transformaties verlopen enz. Daarvoor is de materie nu ook weer niet zo simpel. Maar een enkel voorbeeld, waaruit blijkt hoe een dergelijke transformatie werkt en ook hoe snel je indien je enige routine in dit soort zaken hebt een oplossing kunt vinden, wil ik u niet onthouden.

We beschouwen een rond reservoir met straal R op een watervoerend pakket van zeer grote dikte met een constante buitenwaterstand; de ringdijk veronderstellen we met een waterdichte wand in het midden (core).

Het schema wordt als volgt:

Stationair probleem,
driedimensionaal axiaal symmetrisch.
 $\phi = \phi(r, z) = \text{zakking.}$

De d.v. met randvoorwaarden wordt:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0,$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial r}(0, z) = 0; \quad \phi(\infty, z) = 0$$

$$\left. \begin{aligned} \phi(r, 0) &= H \text{ voor } 0 \leq r < R \\ &= 0 \text{ voor } r > R \end{aligned} \right\}; \quad \phi(r, \infty) = 0.$$

Dit is een axiaal-symmetrisch probleem en we passen daar de zogenaamde oneindige Hankeltransformatie op toe. Deze bestaat hierin dat de nog onbekende functie $\phi(r, z)$ wordt vermenigvuldigd met de faktor $rJ_0(\alpha r)$ (Besselfunctie) en het product wordt geïntegreerd naar r van nul naar ∞ , waardoor een nieuwe functie wordt verkregen, aangeduid met $H\{\phi(r, z)\}$ of kortweg $\hat{\phi}(\alpha, z)$ welke onafhankelijk is van r :

$$\hat{\phi}(\alpha, z) = \int_0^{\infty} r \phi(r, z) J_0(\alpha r) dr, \quad (\text{de } r \text{ verdwijnt}).$$

De voornaamste eigenschap waaraan de oneindige Hankeltransformatie zijn waarde ontleent voor het oplossen van axiaal-symmetrische problemen, is dat zij de termen $\frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial r}$ reduceert tot de getransformeerde functie zelf en de randvoorwaarde voor $r = 0$, nl.:

$$\int_0^{\infty} \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial r} \right) r J_0(\alpha r) dr = - \lim_{r \rightarrow 0} \left(r \frac{\partial \phi}{\partial r} \right) - \alpha^2 \hat{\phi}(\alpha),$$

met als voorwaarde dat de functie op oneindig nul is.

Aangezien $\lim_{r \rightarrow 0} \left(r \frac{\partial \phi}{\partial r} \right)$ in dit voorbeeld gelijk nul is, wordt de getransformeerde d.v.:

$$\frac{\partial^2 \hat{\phi}}{\partial z^2} - \alpha^2 \hat{\phi} = 0.$$

De discontinue randvoorwaarde wordt:

$$\hat{\phi}(\alpha, 0) = \int_0^{\infty} \phi(r, 0) r J_0(\alpha r) dr = H \int_0^R r J_0(\alpha r) dr = \frac{HR}{\alpha} J_1(\alpha R).$$

De eerste twee randvoorwaarden, nl. $\frac{\partial \phi}{\partial r}(0, z) = 0$ en $\phi(\infty, z) = 0$, zijn reeds gebruikt bij de eliminatie van de variabele r ; er blijft dan nog de randvoorwaarde $\phi(r, \infty) = 0$, welke getransformeerd luidt:

$$\hat{\phi}(\alpha, \infty) = 0.$$

De getransformeerde d.v. met randvoorwaarden ziet er nu als volgt uit:

$$\frac{\partial^2 \hat{\phi}}{\partial z^2} - \alpha^2 \hat{\phi} = 0; \quad \hat{\phi}(\alpha, 0) = \frac{HR}{\alpha} J_1(\alpha R); \quad \hat{\phi}(\alpha, \infty) = 0.$$

Dit is een gewone lineaire d.v. met algemene oplossing:

$$\hat{\phi} = C_1 e^{-\alpha z} + C_2 e^{+\alpha z},$$

en met behulp van de getransformeerde randvoorwaarden kan $\hat{\phi}$ nu gemakkelijk worden opgelost:

$$\hat{\phi}(\alpha, z) = \frac{HR}{\alpha} J_1(\alpha R) e^{-\alpha z}.$$

Uit de theorie van de Bessel-functies is bekend dat een willekeurige functie $f(r)$ onder bepaalde voorwaarden kan worden voorgesteld door de zogenaamde Hankel-integraal, als volgt:

$$f(r) = \int_0^{\infty} \alpha A(\alpha) J_0(r\alpha) d\alpha,$$

waarin

$$A(\alpha) = \int_0^{\infty} r f(r) J_0(\alpha r) dr.$$

Aangezien $A(\alpha)$ de Hankel-transformatie is van $f(r)$, dus $A(\alpha) = \hat{f}(\alpha)$, blijkt de inverse transformatie zeer eenvoudig, nl.:

$$\phi(r) = \int_0^{\infty} \alpha \hat{\phi}(\alpha) J_0(r\alpha) d\alpha,$$

en dus wordt de oplossing van ons probleem:

$$\phi(r, z) = HR \int_0^{\infty} J_1(R\alpha) J_0(r\alpha) e^{-z\alpha} d\alpha.$$

De hier gevonden integraal kan worden uitgewerkt tot een oneindig voortlopende reeks en dan voor elke waarde van r en z worden berekend.

(In het voorgaande stellen J_0 en J_1 Besselfuncties voor van de eerste soort en de orde nul en een).

Ditzelfde probleem met iets ingewikkelder randvoorwaarden (bijv. een pakket met eindige dikte, niet-stationaire toestand enz.) kan ook op soortgelijke wijze worden opgelost. Zoals uit dit voorbeeld blijkt, is de Hankeltransformatie zeer geschikt voor axiaal-symmetrische problemen.

Andere bekende transformaties zijn: de Laplace-transformatie welke de tijdsvariabele wegwerkt en dus veelal op niet-stationaire problemen wordt toegepast, en de Fouriertransformaties, waarbij het tweede differentiaalquotient van een plaatsvariabele wordt geëlimineerd in niet-axiaalsymmetrische problemen, d.i.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \text{ of } \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2}.$$

Alhoewel met de integraal-transformaties de meest uiteenlopende twee- of driedimensionale stationaire en niet-stationaire problemen kunnen worden opgelost, wordt deze methode in de geohydrologische literatuur nauwelijks of niet genoemd. Dit is des te verrassender, indien men zich realiseert dat in een tak van wetenschap waar de problemen analoog zijn, nl. de warmteleer, vele oplossingen met behulp van deze methode worden gegeven. Wat hiervan de reden is, is mij niet helemaal duidelijk. Misschien een te weinig mathematische achtergrond bij de geohydrologen? Als dit zo is, dan hoop ik, dat ik met deze summiere voordracht een kleine bijdrage heb kunnen leveren voor een beter begrip van de mogelijkheden tot het analytisch oplossen van meer ingewikkelde geohydrologische problemen.

VII. WATERHUISSHOUDKUNDIGE ASPECTEN

H. M. OUDSHOORN

Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging

SUMMARY

WATER RESOURCES MANAGEMENT

The objective of a water management policy is to optimise the utility of a water resource. This implies that the distribution of supplies and demands and the water quality must, within reasonable accuracy, be known in space and time.

In recent years the availability of water of adequate quality has diminished as a result of the increase in pollution.

To get some insight whether future demands can be met, waterbalances must be drawn up, showing the quantities of rainfall and river flows on one side and the demands of water users with their often conflicting interests on the other side.

With the help of a mathematical model – presently being developed – various policy options and operational procedures can be evaluated. It is intended to use this model for long term planning as well as for operational purposes.

Om al het in deze cyclus besprokene rondom de drink- en industriewatervoorziening over te brengen naar het niveau van de landelijke waterhuishouding, wordt hier teruggegrepen op de eerste inleiding over het structuurschema voor de drink- en industriewatervoorziening.

Dit structuurplan beoogt het regeringsbeleid ten aanzien van de toekomstige drink- en industriewatervoorziening te formuleren.

Bij een structuurschema is het vooral van belang, dat het beleid wordt geformuleerd in het gehele kader van alle factoren, die hiermede in relatie staan.

Aan de plannen, die binnen een structuurschema het tot stand komen van werken beogen, zijn onder meer gevolgen verbonden voor de ruimtelijke ordening, in zoverre de in de plannen aangegeven ruimtelijke reserveringen doorwerken in streekplannen, structuurplannen en bestemmingsplannen. Daarnaast zijn er eveneens gevolgen aan verbonden voor de waterbeheerders voor zover deze plannen konsekventies hebben voor wat de kwantiteits- en kwaliteitsaspecten van de waterhuishouding betreft. Voor de waterleidingbedrijven is het gevolg, dat zij via een vergunningenstelsel in de positie worden gebracht, dat zij geen andere werken mogen uitvoeren dan

die welke passen in het kader dat in het structuurschema voor de drink- en industrie-watervoorziening is aangegeven.

In deze inleiding wordt in het bijzonder ingegaan op de konsekventies voor de waterbeheerders voor wat de kwantiteits- en kwaliteitsaspecten betreft.

In het structuurschema voor de drink- en industriewatervoorziening 1972, zijn een aantal conclusies afgeleid uit de algemene doelstelling van die drink- en industriewatervoorziening.

Een van deze conclusies luidt: Het waterbeheer binnen het stroomgebied van de Rijn en Maas dient erop te zijn gericht, dat de beschikbaarheid van de grondstof water naar kwantiteit en kwaliteit is gewaarborgd.

Een andere conclusie relativeert dit weer en luidt: Bij gebruik van oppervlaktewater voor de bereiding van drink- en industriewater is om kwantitatieve en/of kwalitatieve redenen een aanzienlijke voorraadvorming noodzakelijk.

Ten aanzien van het grondwater wordt gesteld: Grondwater dient, waar mogelijk, te worden bestemd voor huishoudelijk gebruik en voor die industriële doeleinden waarvoor een hoge kwaliteit voorwaarde is. Hierbij wordt opgemerkt, dat het wenselijk is, dat de na afweging van alle belangen beschikbaar geachte hoeveelheid grondwater ook kwalitatief wordt beschermd. Verontreiniging van de bron tengevolge van indringing van afvalstoffen van bovenaf of door lozing daarvan in de ondergrond moet worden vermeden. Voortdurend gaat het hier om het stellen van wensen en de afweging van de andere belangen, die hier in het geding zijn. Daarbij wordt tevens gesteld dat, voor een goede en tijdige afweging van alle bij voorgenomen werken gemoeide belangen, duidelijke procedures moeten worden vastgesteld.

Aan alle wensen, die aan de drink- en industriewatervoorziening worden gesteld voor wat een zo goed en economisch mogelijke voorziening van water betreft, worden eveneens beperkingen opgelegd.

Bij de beschouwing van de nationale waterhuishouding moeten zowel de belangen van de drink- en industriewatervoorziening, als van de landbouw, de energievoorziening, de scheepvaart, het milieu en landschap, de ecosystemen en de natuurgebieden naast elkaar worden gesteld en de conflicterende situaties worden opgespoord. Vervolgens moeten, zonodig op het hoogste niveau, beslissingen volgen om prioriteiten te kunnen stellen.

Uit de inleiding van de heer Romijn blijkt, dat de geraamde hoeveelheid winbaar grondwater 1,9 miljard m³ per jaar bedraagt. Van de kant van Landbouw wordt echter deze hoeveelheid wel wat gerelativeerd. Hierover heeft de heer Colenbrander gesproken.

Landbouwschades en alle mogelijke andere zaken maken een afweging van belangen voor het gebruik van grondwater noodzakelijk. Er kan worden verondersteld, dat de hoeveelheid beschikbaar grondwater 1½ à 2 miljard m³ per jaar is. Gesteld tegenover de geraamde behoefte van 4 à 4½ miljard m³ per jaar is de conclusie, dat

er een aanzienlijk gebruik van oppervlaktewater nodig zal zijn. Deze hoeveelheid is 2 à 2½ miljard m³ per jaar. Vergeleken met de aanvoer van de Rijn van gemiddeld 70 miljard m³ per jaar en van de Maas van 8 miljard m³ per jaar, lijken er weinig problemen te bestaan. Wordt echter bedacht, dat een gemiddelde behoefte van 2 miljard m³ gelijk is aan een waterstroom van 70 m³/s en dat het er nu op gaat lijken dat, na moeizaam overleg met België, de minimum gegarandeerde Maasafvoer kan worden aangenomen op in orde van grootte 20 à 25 m³/s, dan blijkt toch wel dat er aan kwaliteits-Maaswater in een droge zomerperiode bij lange na niet voldoende wordt aangevoerd om in de behoefte van Nederland aan drink- en industrie-water te kunnen voorzien. Er zal derhalve voor een belangrijk deel op het gebruik van water uit de Rijn moeten worden gerekend. Helaas komt bij het gebruik van Rijnwater direct de kwaliteits-problematiek om de hoek kijken. In het structuurschema wordt het maximum gehalte aan chloride-ionen in de grondstof voor de bereiding van drinkwater 150 mg Cl⁻/l genoemd. Nu blijkt dat over de jaren 1971-1972 gedurende 500 dagen – dat is 250 dagen per jaar – het chloride-ion-gehalte van het Rijnwater hoger is geweest dan 200 mg Cl⁻/l. Het wordt zodoende duidelijk wat voor problemen het gebruik van Rijnwater voor de waterbeheerder gaat opleveren, om water van de gewenste kwaliteit ter beschikking te kunnen stellen. In het structuurschema wordt dan ook volkomen terecht gesteld, dat de noodzaak is aangetoond voor een saneringsbeleid en internationaal verband ten aanzien van de internationale rivieren op het gebruik van welker water wij zo zeer zijn aangewezen.

Frankrijk heeft zich verplicht om tegen het begin van 1975 60 kg Chloride per seconde terug te zullen houden op de thans plaatsvindende lozingen van de Kalimijnen. Vertaald in dagen overschrijding van de 200 mg-grens te Lobith betekent dit, dat dit aantal dagen in een gemiddeld jaar ongeveer wordt gehalveerd. De gemiddeld 100 dagen met overschrijding van deze grens van thans wordt dan verminderd tot ongeveer 50 dagen per jaar. Op de dimensionering van de spaarbekkens, die geheel op de Rijn zijn aangewezen voor onttrekking van water, betekent dit, dat de inhoud van de spaarbekkens in procenten van de jaarproductie afneemt van 50 naar rond 35 procent. Hierbij is er uiteraard van uit gegaan dat de 200 mg Cl⁻/l-grens als parameter voor de kwaliteit van het ruwe water aanvaardbaar is. Dit is dan wel 50 mg/l meer dan in het structuurschema wordt genoemd.

De heer Martijn heeft al laten zien dat wat de kwantiteit betreft onttrekking alleen uit de Maas niet mogelijk is. Aan de andere kant is voor de Rijn de kwaliteit de grootste moeilijkheid. Voor droge jaren is de onttrekkingsmogelijkheid aan de Rijn als onvoldoende te stellen.

De waterbeheerder moet bovendien nog voldoen aan de eisen van de Landbouw, de eisen ten aanzien van de kwaliteit van het landschap, het natuurbehoud daarbij inbegrepen. Voorts worden dan nog eisen gesteld voor de energievoorziening ten aan-

zien van koelwater en de eisen voor de scheepvaart ten aanzien van de vaardiepte.

De beschouwingwijze, zoals de heer Martijn deze heeft ontwikkeld in zijn inleiding van de gemiddelde overschrijdingen in een 5% droog jaar in een bepaalde maand, is niet toereikend voor de formulering van een algemeen beleid van de waterhuishouding. Deze methode is zeer nuttig geweest voor het verkrijgen van een algemene indruk van de orde van grootte van de benodigde opslagcapaciteit, doch de invloed van persistenties, de afhankelijkheid van kwaliteit en kwantiteit komen hierin niet voldoende tot uitdrukking om alle belangrijke conflict-situaties tegenover elkaar te kunnen stellen. Dit is de reden waarom bij de Rijkswaterstaat is begonnen met het schrijven van een beleidsvisie, in dit geval van de waterhuishouding als geheel. Deze beleidsvisie heeft uiteraard een ander karakter dan dat van de drink- en industriewatervoorziening alleen. De doelstelling van de waterhuishouding is dan het ordenend optreden tussen alle daarbij betrokken deeldoelstellingen. Uitgaande van de constatering dat water voor de hele samenleving in Nederland van bijzonder groot belang is en dat de kwaliteit van het water in de samenhang water-bodem-lucht van enorme betekenis is voor ons milieu, moet het kwantificeren van de onderscheiden belangen bij het gebruik van het water zowel naar kwantiteit als naar kwaliteit worden gezien. Deze kwantificering van de belangen is echter een opgave van die verschillende belangen-sectoren zelf.

Zodra wordt geconstateerd dat, ten behoeve van de verschillende belanghebbenden, iets moet worden gedaan aan de verdeling van het water over Nederland – bijvoorbeeld voor de doorspoeling van poldergebieden –, voor beschikbaarstelling van koelwater – bijvoorbeeld uit de grote rivieren –, voor de opzameling van water in voorraadbekken voor de drink- en industriewatervoorziening, moeten wij tevens onderkennen waar en wanneer dan conflictsituaties optreden.

Bij heel lage afvoeren van de Rijn zal de drink- en industriewatervoorziening nauwelijks zijn geïnteresseerd in de beschikbaarstelling van grote hoeveelheden water uit deze rivier. Onder zulke omstandigheden is de kwaliteit van dat water zo slecht, dat de drink- en industriewatervoorziening er in het geheel geen prijs op zal stellen. De electriciteitsvoorziening heeft juist in die periode wel veel water nodig omdat dan de kwalijke gevolgen van de thermische belasting en zelfs overbelasting vooral te duchten zijn. Wanneer deze vraag samenvalt met het groeiseizoen van de gewassen dan heeft ook de landbouw, in het bijzonder in de gebieden in het westen van het land, behoefte aan grote doorspoelmogelijkheden. Daarom is het in het bijzonder van belang de behoeften en de beschikbare hoeveelheden te ramen en dan afhankelijk van de periode van het jaar, de kwaliteit van het water en de afvoer van de bovenrivieren.

Het is duidelijk, dat het in dit verband niet mogelijk is te spreken over gemiddelde situaties in gemiddelde maanden van 5% droge of 5% natte jaren. Handreken-technieken om zulke situaties te simuleren zijn niet meer toereikend omdat het aantal

combinaties dat ontstaat veel te groot is. Het aantal situaties dat moet worden onderzocht wanneer vragen over prioriteitenstelling en afweging van belangen aan de orde komen is zo groot omdat verschillende alternatieven vergeleken dienen te worden.

De methode van het onderzoek naar de beste waterverdeling bestaat uit de opstelling van een groot aantal waterbalansen. Gezien de mogelijke variaties in hoeveelheid en kwaliteit van het water en dan zowel naar de plaats in de infrastructuur als naar het tijdstip waarvoor de balans wordt verlangd, bezit het geheel van waterbalansen dat wordt berekend een vier-dimensionaal karakter. Dit vraagt om een rekenmodel.

Om in alle mogelijke omstandigheden steeds de meest gunstige waterverdeling te kunnen bepalen, moet het rekenmodel aan de volgende voorwaarden voldoen:

1. Het moet mogelijk zijn na te gaan met welk verdelingsregiem in de huidige hoofdinfrastructuur de hoeveelheden water, die ter beschikking komen, het best kunnen worden verdeeld.
2. Het moet mogelijk zijn na te gaan welke prioriteitsvolgorde van de onttrekkingen in perioden van schaarste nationaal-economisch gezien de minste schade veroorzaakt.
3. Het moet mogelijk zijn op korte termijn resultaten uit het model te verkrijgen waarmee met meer zekerheid dan in de nota "De Waterhuishouding van Nederland" mogelijk is geweest, een uitspraak kan worden gedaan over de noodzaak van een koppeling tussen het noordelijk en het zuidelijk deel van Nederland.
4. Het moet mogelijk zijn de infrastructuur in het model relatief eenvoudig te wijzigen. Dit is noodzakelijk om te kunnen onderzoeken of door het aanleggen van bijvoorbeeld een verbindingskanaal een gunstiger waterverdeling kan worden verkregen.

Om aan deze voorwaarden te kunnen voldoen is het gewenst, dat het computerprogramma, dat het model in feite is, zo flexibel mogelijk is. Dit wordt als volgt verkregen:

De hoofdinfrastructuur van ons land is geschematiseerd tot een netwerk, dat is opgebouwd uit takken en knooppunten. In de knooppunten worden de waterbalansen berekend. Het water wordt via de takken van knooppunt naar knooppunt gevoerd. De balansen betreffen meerdaagse perioden. Hierbij is de keuze gevallen op periode-lengten van een decade zoals deze eveneens bij het K.N.M.I. worden gehanteerd. Elke maand heeft steeds drie van deze decaden waarbij de eerste twee decaden elk steeds 10 dagen lang zijn. De berging van het water is in de knooppunten geconcentreerd gedacht.

Alle balansberekeningen vinden plaats in de knooppunten. Daartoe is in het rekenprogramma een zogenaamd standaardknooppunt opgenomen. In dit knoop-

punt kunnen drie takken samenkomen en acht onttrekkingen of lozingen plaatsvinden. Het debiet in de aanvoerende tak van het knooppunt is berekend in het voorafgaande knooppunt. Bij elk knooppunt is voorts aan te geven een verdeelsleutel voor de verdeling van het water over de bij het knooppunt behorende takken.

Het netwerkbestand omvat het netwerk waarin alle knooppunten aan elkaar zijn verbonden. Daar in het rekenprogramma een standaardknooppunt is opgenomen wordt het netwerk bepaald door de volgorde waarin de in het programma geschematiseerde infrastructuur wordt berekend. Het model wordt ook beschreven door de rekenvolgorde van knooppunten, de gegevens over de berging in de knooppunten, de parameters van de benodigde verdeelsleutels en de volgorde van onttrekkingen of lozingen die worden toegepast. Deze volgorde wordt in een prioriteitenlijst vastgesteld.

In deze prioriteitenlijst kan derhalve het eventueel terugnemen van een bepaalde onttrekking onder aangegeven bijzondere omstandigheden worden vastgelegd, zodat de konsekventies hiervan kunnen worden onderzocht.

Tenslotte bevat het model een gegevensbestand. In dit gegevensbestand zijn de getalgegevens opgenomen zoals de aanvoer van water, de neerslag, de verdamping en de onttrekkingen. Deze gegevens zijn in een reeks van werkelijk opgetreden afvoeren en meteorologische omstandigheden over een periode van 40 jaren opgenomen.

Het is echter zo, dat zodra wordt gesproken over prioriteiten, over waterverdeling, over toewijzing van water en garanties voor de beschikbaarheid van water, het in bepaalde situaties noodzakelijk is dat enerzijds de wetgeving het mogelijk moet maken via een vergunningenstelsel het beleid te realiseren en anderzijds het nodig is dat door middel van metingen een volledige controle wordt verkregen over de waterbeweging en de kwaliteit van het water in Nederland.

Over de wetgeving, die nodig zal zijn om tot een regeling van de waterhuishouding en de zekerstelling van bepaalde prioriteiten te geraken en het overleg en de inspraak-procedures die hierbij noodzakelijk zijn, zal hier niet worden uitgeweid. De heer directeur-generaal van de Rijkswaterstaat is hierop uitgebreid ingegaan in zijn toespraak die hij heeft gehouden bij de opening van het gemaal "De Helsdeuren" in Den Helder (Zie hiervoor "Waterschapsbelangen" nr. 11 van 30 mei 1973).

Het is duidelijk, dat een rekenmodel een belangrijk instrument is om te komen tot advisering over bepaalde onttrekkingschema's, prioriteitenschema's en waterverdelingsplannen.

Een ieder zal direct begrijpen hoe groot het belang is van het bestaan van een goed meetnet in Nederland en dan niet alleen van de bestaande bronnen, maar ook van de onttrekkingen die worden gedaan. Dit heeft tot gevolg, dat er een consistent meetnet zal moeten worden opgezet voor geheel Nederland. Een deel van dit meetnet is op dit ogenblik in het hoofdsysteem aanwezig in de vorm van de Rijkspeil-

schalendienst, waarmede peilbeheersing en de kwantitatieve waterverdeling van Nederland wordt gecontroleerd en vastgelegd. Het is noodzakelijk dat in Nederland een meetnet ontstaat, dat is opgebouwd uit een primair net bestaande uit meetpunten langs de hoofdinfrastructuur waarover de verdeling van het water over de diverse invloedsgebieden tot stand komt. Bovendien zijn nodig een secundair netwerk waarbij op de verschillende contactpunten tussen de secundaire watervoorziingsgebieden aan het hoofdsysteem gemeten wordt en bij de grensoverschrijdingen van de kleine waterlopen en tenslotte een tertiair systeem, dat dient voor de controle van de waterverdeling binnen de verzorgingsgebieden door de lokale waterbeheerders.

Ik hoop dat ik u, uitgaande van deze hele lezingencyclus over drink- en industrie-water en alle consequenties die hieruit voortvloeien ten aanzien van de winning van grondwater, de opslag van oppervlaktewater onder- en bovengronds en de beschikbaarheid van de grondstof water, heb aangetoond hoe belangrijk het is dat in Nederland de wetgeving, het rekenmodel en het meetsysteem tezamen één consistent geheel vormen:

1. de wetgeving met de waterverdelingsplannen en het daarop stoelende vergunningenbeleid. Hierbij hoort eveneens de overlegstructuur, die nodig is en waarin alle belanghebbenden hun belangen naar voren kunnen brengen;
2. een rekenmodel waarin de gevoeligheid van bepaalde ingrepen op het systeem duidelijk zichtbaar kan worden gemaakt;
3. een meetsysteem waarmee de feitelijke gegevens betreffende kwantiteit en kwaliteit van de bronnen en de behoeften in tijdseries duidelijk worden geregistreerd.

COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK T.N.O.

Verslagen en Mededelingen

- No. 1. Verslagen van de Technische Bijeenkomsten 1—6 (with summaries in English, avec des résumés en français), 1952.
1. Het waterhuishoudkundig onderzoek in de Rottegatpolder
 2. De watervoorziening der gewassen I
 3. Waarneming van grondwaterstanden
 4. Lysimeteronderzoek in Nederland
 5. De watervoorziening der gewassen II
 6. Het vraagstuk van de verzouting van grond- en oppervlaktewater in Nederland
- No. 2. Verslagen van de Technische Bijeenkomsten 7—10 en Verslag inzake het verdampingsonderzoek in de Rottegatpolder over de jaren 1947-1952 (with summaries in English, avec des résumés en français), 1955.
7. Bewerking van regenwaarnemingscijfers
 8. Modelonderzoek van grondwaterstromingen
 9. Metingen en verbeteringen in het stroomgebied van beken
 10. Geo-electrisch bodemonderzoek
- No. 3. Verslagen van de Technische Bijeenkomsten 11-12 (with summaries in English, avec des résumés en français) en Rapport inzake de lysimeters in Nederland (in de Engelse taal), 1958.
11. Watervoorziening van zandgronden
 12. Kwaliteitseisen van oppervlaktewater
- No. 4. Verdampingssymposium Agrohydrologisch Colloquium C.O.L.N. en Rapport inzake de lysimeters in Nederland II (with summaries in English), 1959.
- No. 5. Verslagen van de Technische Bijeenkomsten 13-14 (with summaries in English), 1960
13. Grondwaterstanden en grondwaterbeweging in de Nederlandse zandgronden
 14. Het water in onverzadigde grond

- No. 6. Verslag van de Technische Bijeenkomst 15 (with summaries in English, avec des résumés en français), 1961.
15. Enige onderzoekingen ten behoeve van de grondslagen van het beheer van de Rijn, het IJsselmeer en het Zeeuwse Meer
- No. 7. Verslag van de Technische Bijeenkomst 16 (with summaries in English), 1962.
16. Het droge jaar 1959
- No. 8. Verslag van de Technische Bijeenkomst 17 (with summaries in English), 1963.
17. De stromingswetten van het grondwater en de toepassing daarvan in de praktijk
- No. 9. Verslag van de Technische Bijeenkomst 18 (with summaries in English), 1963.
18. Wateroverlast
- No. 10. Steady flow of ground water towards wells, compiled by the Hydrologisch Colloquium, 1964.
- No. 11. Verslag van de Technische Bijeenkomst 19 (avec des résumés en français, mit Zusammenfassungen in Deutsch), 1964.
19. Geo-hydrologische karteringen
- No. 12. Water balance studies, Proceedings of Technical Meeting 20, 1966.
- No. 13. Recent trends in hydrograph synthesis, Proceedings of Technical Meeting 21, 1966.
- No. 14. Verslag van de Technische Bijeenkomst 22 (with summaries in English), 1968.
22. Regenwaarnemingscijfers (II)
Rapport inzake Lysimeters in Nederland (III)
- No. 15. Soil - Water - Plant, 1969.
- No. 16. Verslag van de Technische Bijeenkomst 29 (with summaries in English), 1975.
29. Het hydrologische onderzoek ten behoeve van het Structuurschema Drink- en Industrierwatervoorziening Nederland.
- No. 17. Verslag van de Technische Bijeenkomst 25 (in Engelse taal), 1973.
25. Automatic Processing of Hydrological Data

- No. 18. Verslag van de Technische Bijeenkomst 26 (in Engelse taal), 1974.
26. Hydraulic Research for water management
- No. 19. Verslag van de Technische Bijeenkomst 27 (in Engelse taal), 1974.
The hydrological investigation Programma in Salland

COMMITTEE FOR HYDROLOGICAL RESEARCH T.N.O.

Proceedings and Informations

- No. 1. Proceedings of Technical Meetings 1—6 (with summaries in English), 1952.
1. Investigations into the water balance of the Rottegataspolder
 2. The water supply for crops I
 3. Observations of groundwater levels
 4. Investigations by drain gauges in the Netherlands
 5. The water supply for crops II
 6. The problem of the increasing salinity of ground and surface water in the Netherlands
- No. 2. Proceedings of Technical Meetings 7—10 and Report on the evaporation research in the Rottegataspolder 1947-1952 (with summaries in English), 1955.
7. The study of precipitation data
 8. Model research on groundwater flows
 9. Measurements and improvement works in basin of brooks
 10. Geo-electrical research
- No. 3. Proceedings of Technical Meetings 11—12 (with summaries in English) and Report on the lysimeters in the Netherlands (in English), 1958.
11. The water supply of sandy soils
 12. Quality requirements for surface waters
- No. 4. Evaporation Symposium and Report on the Lysimeters in the Netherlands II (with summaries in English), 1959
- No. 5. Proceedings of Technical Meetings 13-14 (with summaries in English), 1960.
13. Groundwater levels and groundwater movement in the sandy areas of the Netherlands
 14. Water in unsaturated soil
- No. 6. Proceedings of Technical Meeting 15 (with summaries in English), 1961.
15. The regimen of the Rhine, the Ysselmeer and Zealand lake

- No. 7. Proceedings of Technical Meeting 16 (with summaries in English), 1962.
16. The dry year 1959
- No. 8. Proceedings of Technical Meeting 17 (with summaries in English), 1963.
17. The laws of groundwater flow and their application in practice
- No. 9. Proceedings of Technical Meeting 18 (with summaries in English), 1963.
18. Water nuisance
- No. 10. Steady flow of ground water towards wells, compiled by the Hydrologisch Colloquium (in English), 1964.
- No. 11. Proceedings of Technical Meeting 19 (with summaries in French and German), 1964.
19. Geo-hydrological cartography
- No. 12. Water balance studies, Proceedings of Technical Meeting 20 (in English), 1966.
- No. 13. Recent trends in hydrograph synthesis, Proceedings of Technical Meeting 21 (in English), 1966.
- No. 14. Proceedings of Technical Meeting 22 (with summaries in English), 1968.
22. Precipitation Data (II)
Report on the Lysimeters in the Netherlands (III)
- No. 15. Soil - Water - Plant, 1969 (in English)
- No. 16. Proceedings of Technical Meeting 29 (with summaries in English), 1975.
29. Hydrological investigations for masterplan for the future watersupply in The Netherlands.
- No. 17. Proceedings of Technical Meeting 25, (in English), 1973.
25. Automatic Processing of Hydrological Data
- No. 18. Proceedings of Technical Meeting 26 (in English), 1974.
26. Hydraulic Research for water management
- No. 19. Proceedings of Technical Meeting 27 (in English), 1974.
27. The hydrological Investigation Programme in Salland