131207.2

organisatie voor
toegepast-natuurwetenschappelijk
onderzoek

TNO

VERSLAG VAN DE TNO - AD-HOC GROEP

GRONDWATERMODELLEN

EN

COMPUTERPROGRAMMATUUR

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

model 168

VERSLAG VAN DE TNO - AD-HOC GROEP

GRONDWATERMODELLEN

EN

COMPUTERPROGRAMMATUUR

COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK TNO.

RAPPORTEN EN NOTA'S no. 2.

COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK TNO

VERSLAG VAN DE AD-HOC GROEP

GRONDWATERMODELLEN

EN

COMPUTERPROGRAMMATUUR

Den Haag, juli 1978.
Postbus 297.

AANBEVELINGEN

1. Teneinde de bekendheid van de potentiële gebruikers en bouwers van grondwatermodellen met elkaars werk te bevorderen, dient er aanmerkelijk meer informatie-uitwisseling en samenwerking tussen betrokkenen plaats te vinden.
Aanbevolen wordt dat het Klein Comité van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO terzake initiatieven gaat ontwikkelen.

2. De ontwikkeling van modellen dient meer dan tot nu toe te worden gecoördineerd. Aanbevolen wordt dat het Klein Comité laat onderzoeken in hoeverre en op welke wijze een coördinatie van het werk van de modellen ontwikkelende instellingen te realiseren is.

3. Wat de ontwikkeling van grondwatermodellen betreft kunnen nog de volgende aanbevelingen worden gedaan:

3.1 De modellen dienen in overleg met de gebruikers operationeel gemaakt te worden.

3.2 De modelbouwer dient te zorgen voor een goede, gebruikersgerichte dokumentatie, die de gebruiker inzicht verschaft omtrent de te leveren gegevens, alsmede omtrent de mogelijkheden van de diverse modellen.
Anderzijds dienen de gebruikers de probleemstelling duidelijk te formuleren.

3.3 Gezien de in veel modellen benodigde relatie tussen grondwater en oppervlaktewater verdient het aanbeveling om meer afvoergegevens te verzamelen.

3.4 Er moet meer aandacht worden besteed aan de toetsing van de modellen aan veldsituaties; dit verschaft een indruk van de betrouwbaarheid van de modellen.

3.5 De gevoeligheid van de modeluitkomsten voor veranderingen in modelparameters dient beter te worden onderzocht. Dit verschaft een indruk van de benodigde nauwkeurigheid van de invoergegevens.

3.6 Teneinde kosten te besparen voor de bepaling van bodemkonstanten voor de verzadigde zone verdient het aanbeveling om de ontwikkeling van inverse modellen te stimuleren.

3.7 Omdat zoet/zout problemen in grote delen van Nederland voorkomen is een verdere ontwikkeling van modellen op dit gebied van belang.

4. Tenslotte beveelt de ad-hoc groep aan, dat een onderzoek als het huidige over enige jaren zal worden herhaald.
Het Klein Comité zou in de tussentijd kunnen bevorderen dat van gebruikerszijde dan duidelijk omschreven eisen aan de grondwatermodellen kunnen worden gesteld.
De dan bestaande modellen kunnen vervolgens probleemgericht worden geïnventariseerd.Tevens zou evaluatie van de modellen kunnen plaastvinden door met de verschillende modellen een aantal specifieke problemen door te rekenen.

VERSLAG VAN DE

TNO AD-HOC GROEP GRONDWATERMODELLEN

EN COMPUTERPROGRAMMATUUR

INHOUD

		Blz.
	Lijst van figuren.	-
	Lijst van tabellen	-
1.	INLEIDING	1
2.	GRONDSLAGEN	3
2.1	Beschrijving van hydrologische kringloop	3
2.2	Fysisch mathematische theorie	5
2.2.1	Grondwaterpotentiaal	6
2.2.2	Algemene basisvergelijkingen	7
2.2.3	Basisvergelijkingen voor de verzadigde zone	9
2.2.4	Basisvergelijkingen voor de onverzadigde zone	11
2.3	Oplossingsmethoden	14
2.3.1	Eindige differentie methode	14
2.3.2	Eindige elementen methode	17
3.	COMPUTER PROGRAMMATUUR	21
3.1	Inleiding	21
3.2	Rekenprogrammatuur	21
4.	ENQUETE RESULTATEN	27
4.1	Behoeftenpakket	27
4.2	Bestaande programmatuur	32
5.	CONCLUSIES	47
	LITERATUUR.	49
BIJLAGE 1 :	Geënquêteerde instellingen	51
BIJLAGE 2 :	Enquête-vragen : behoefte aan grondwatermodellen	52
BIJLAGE 3 :	Enquête-vragen : beschikbare kwantitatieve grondwatermodellen	53
BIJLAGE 4 :	Beknopte beschrijving bestaande grondwatermodellen	54

LIJST VAN FIGUREN

		Blz.
1.	Natuurlijke hydrologische kringloop.	3
2.	Schematisch hydrologisch model van een stroomgebied.	4
3.	Vierkantennet gesuperponeerd op x,t vlak voor expliciete benadering.	15
4.	Vierkantennet gesuperponeerd op x,t vlak voor impliciete benadering.	16

LIJST VAN TABELLEN

		Blz.
1.	Rekenvoorbeeld grondwateronttrekking.	5
2.	Overzicht van aktiviteiten en voorwaarden voor grondwaterbeheer.	28
3.	Antwoorden op enige enquêtevragen onder de gebruikers.	29/32
4.	Overzicht van bestaande grondwatermodellen.	33
5.	Modellen voor verzadigde, stationaire, 2-dimensionale stroming in een horizontaal vlak.	35
6.	Modellen voor verzadigde, stationaire, 2-dimensionale stroming in een vertikaal vlak.	36
7.	Modellen voor verzadigde, stationaire, 3-dimensionale stroming.	37
8.	Modellen voor verzadigde, niet stationaire, 2-dimensionale stroming in een horizontaal vlak.	38
9.	Modellen voor verzadigde, niet stationaire, 2-dimensionale stroming in een vertikaal vlak.	39
10.	Modellen voor verzadigde, niet stationaire, 3-dimensionale stroming.	40
11.	Modellen voor onverzadigde, stationaire, 1-dimensionale vertikale stroming.	41
12.	Modellen voor onverzadigde, niet stationaire, 1-dimensionale vertikale stroming.	42
13.	Modellen voor gekombineerde, stationaire, 2-dimensionale stroming in een vertikaal vlak.	43
14.	Modellen voor gekombineerde, niet stationaire, 1-dimensionale vertikale stroming.	44
15.	Modellen voor gekombineerde, niet stationaire, 2-dimensionale stroming in een vertikaal vlak.	45
16.	Modellen voor gekombineerde, niet stationaire, 3-dimensionale stroming.	46

SAMENVATTING

Door het Klein Comité van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO werd eind 1975 het principebesluit genomen over te gaan tot instelling van een ad-hoc groep Grondwatermodellen en Computerprogrammatuur.
Vervolgens werd de ad-hoc groep op 21 april 1976 door de voorzitter van eerdergenoemde Commissie geïnstalleerd.
Zij kreeg als taak het inventariseren van de behoefte aan en de beschikbaarheid van grondwatermodellen en computerprogrammatuur in Nederland.

De ad-hoc groep heeft hiertoe enquêtes gehouden onder zowel bouwers als gebruikers van grondwatermodellen. De voornaamste resultaten van deze enquête zijn samengevat in de tabellen 3 tot en met 16.

Uit de enquêtes werd duidelijk dat de behoeften weinig exact konden worden gedefinieerd. Dit is het gevolg van het feit dat de potentiële gebruikers en bouwers van grondwatermodellen weinig bekend zijn met elkaars problematiek en mogelijkheden.
Verbetering van de informatie-uitwisseling tussen de betrokkenen dient derhalve te worden bevorderd.

De ad-hoc groep stelt voor dat een onderzoek als het onderhavige over enige jaren zal worden herhaald, echter met inbegrip van een evaluatie van de dan bestaande modellen .

1. INLEIDING

Op 17 juni 1975 werd in het kader van de "Samenwerking Automatisering Waterstaat" (SAW) door zijn voorzitter een verzoek gericht aan het Klein Comité van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO om een projectgroep in te stellen, die als taak zou moeten hebben het inventariseren van de behoefte aan en de beschikbaarheid van grondwatermodellen en computerprogrammatuur.
Dit verzoek werd gedaan in verband met de verwachting dat binnen niet al te lange tijd de in voorbereiding zijnde Grondwaterwet van kracht zou worden.
Om in de nationale waterbehoefte te voorzien wordt in toenemende mate een beroep gedaan op het grondwater. Dit heeft tot gevolg dat in het gehele land de grenzen van het winbaar te achten grondwater steeds meer worden benaderd en op een aantal plaatsen reeds zijn bereikt. Om deze ontwikkeling te beheersen is een algemeen, landelijk gericht beleid nodig dat onderbouwd dient te worden door meer en diepgaander onderzoek.

De Grondwaterwet Waterleidingbedrijven, de Hinderwet en de huidige provinciale grondwaterverordeningen zijn als instrument voor een dergelijk beleid onvoldoende, omdat ieder van deze wetten en verordeningen slechts betrekking hebben op een deel van de bij het grondwaterbeheer betrokken belangen.
In het ontwerp Grondwaterwet is gestreefd naar een bestuurlijke opzet die een integraal kwantitatief grondwaterbeheer mogelijk maakt. Voor de technische uitvoering van een dergelijk grondwaterbeheer is het noodzakelijk te beschikken over grondwatermodellen en computerprogrammatuur.

Op 21 april 1976 werd door het Klein Comité gevolg gegeven aan het verzoek van de SAW met de instelling van de TNO ad-hoc groep Grondwatermodellen en Computerprogrammatuur.

De samenstelling van de groep was als volgt:

S.I.E. Blok	(voorzitter),	Dienst Informatieverwerking van de Rijkswaterstaat, Rijswijk;
A. Leijnse	(secretaris),	Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Voorburg;
J. Boonstra,		International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen;
J. Bruyn,		N.V. Waterleidingmij Oostelijk Gelderland, Doetinchem;
T. Couwenhoven,		Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven, Utrecht;
R.A. Feddes,		Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen;
Th. J. van de Nes,		Provinciale Waterstaat van Gelderland, Arnhem.

De groep kreeg de volgende opdracht mee:

"Het tegen de achtergrond van bestaande grondwaterproblematiek, aangeven van de beschikbare grondwatermodellen en computerprogrammatuur,alsmede het inventariseren van de bestaande verlangens op dit gebied".

De ad-hoc groep heeft zich conform deze opdracht beperkt tot het inventariseren van de bestaande numerieke kwantitatieve grondwater-modellen en de behoefte aan die modellen.
Zo zijn buiten beschouwing gebleven de analoge modellen, analytische oplossingen, correlatie- en optimalisatie-technieken.

Voor de uitvoering van de taak werden door de groep enquêtes gehouden onder gebruikers en bouwers van computermodellen (zie bijlagen I, II en III). Deze enquêtes droegen een verkennend karakter, waarbij niet is gestreefd naar volledigheid.
De enquête-resultaten worden in het verslag voorafgegaan door korte beschouwingen over de theoretische achtergronden van grondwatermodellen (hoofdstuk 2) en over een aantal algemene aspekten van computerprogram-matuur (hoofdstuk 3).
In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de enquêtes gegeven en in hoofd-stuk 5 komen tenslotte de conclusies aan de orde.

De ad-hoc groep dankt een ieder die zo vriendelijk is geweest een bijdrage aan dit rapport te leveren.

2. GRONDSLAGEN

2.1 Beschrijving hydrologische kringloop

In figuur 1 is de natuurlijke hydrologische kringloop weergegeven. De klimatologische gegevens, bepalend voor neerslag en verdamping, worden als een natuurlijk gegeven beschouwd.

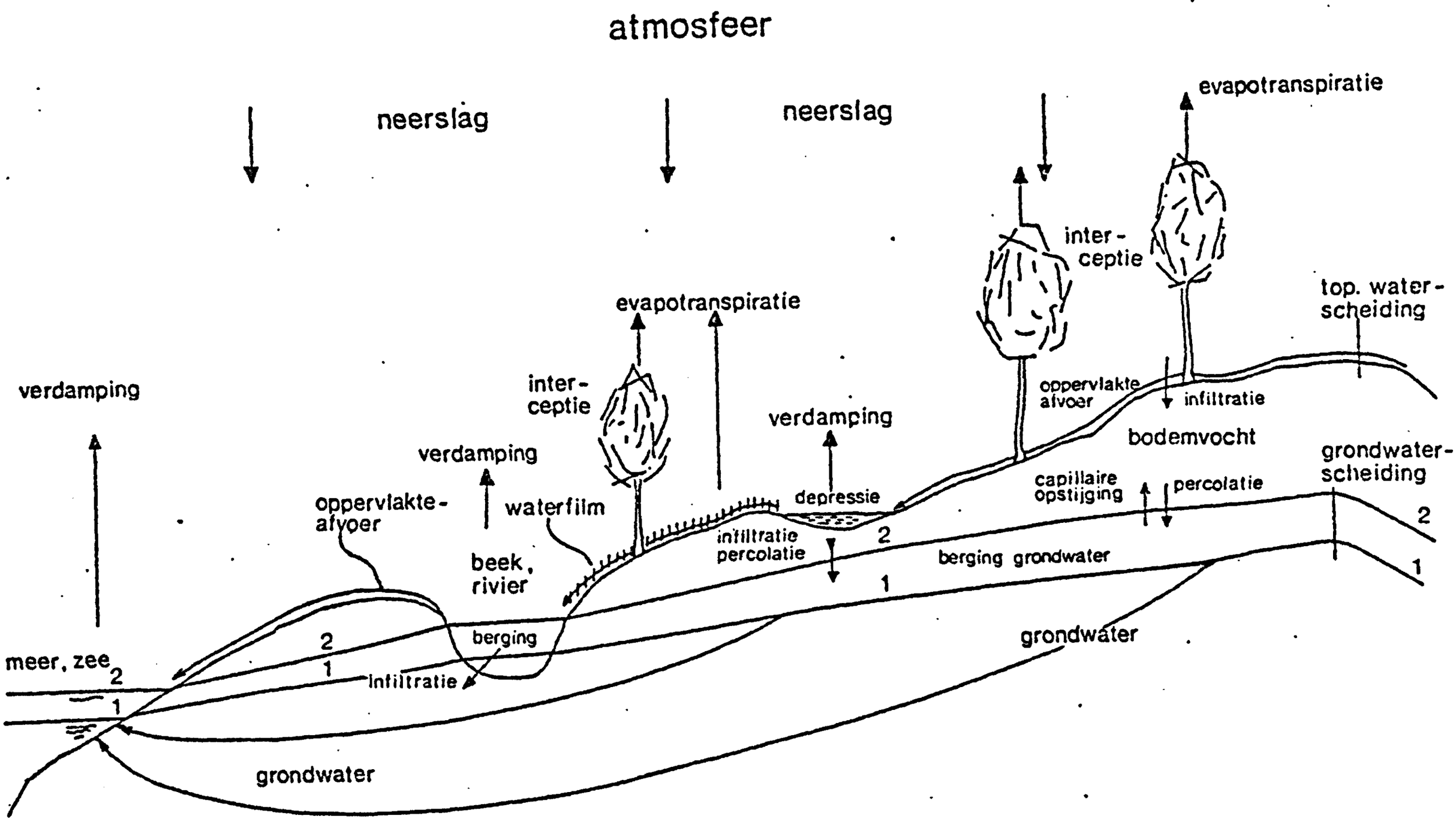

Fig. 1 Natuurlijke hydrologische kringloop.

Een deel van de neerslag verdampt en de rest wordt afgevoerd, waarbij het water onderweg een aantal bergingsreservoirs zoals plasvorming, oppervlaktewater, bodemvocht en grondwater passeert. De afstroming vindt uiteindelijk plaats naar zeeën, waaruit het water via verdamping in de atmosfeer terecht komt.

In figuur 2 zijn de belangrijkste natuurlijke hydrologische processen in een stroomgebied schematisch weergegeven. De pijlen geven de relaties weer tussen de verschillende bergingsreservoirs.
De neerslag zal voor een deel wel en voor een deel niet in de bodem infiltreren. Het deel dat niet infiltreert komt over het algemeen snel tot afvoer via het oppervlakte-afvoersysteem. In Nederland is deze oppervlakte-afvoer van relatief geringe betekenis.
De neerslag die aan het bodemvochtsysteem ten goede komt, bepaalt enerzijds mede de werkelijke verdamping van de landbouwgewassen en natuurlijke vegetaties en draagt anderzijds bij tot de voeding van het grondwatersysteem. Deze laatste hoeveelheid wordt nuttige neerslag genoemd.

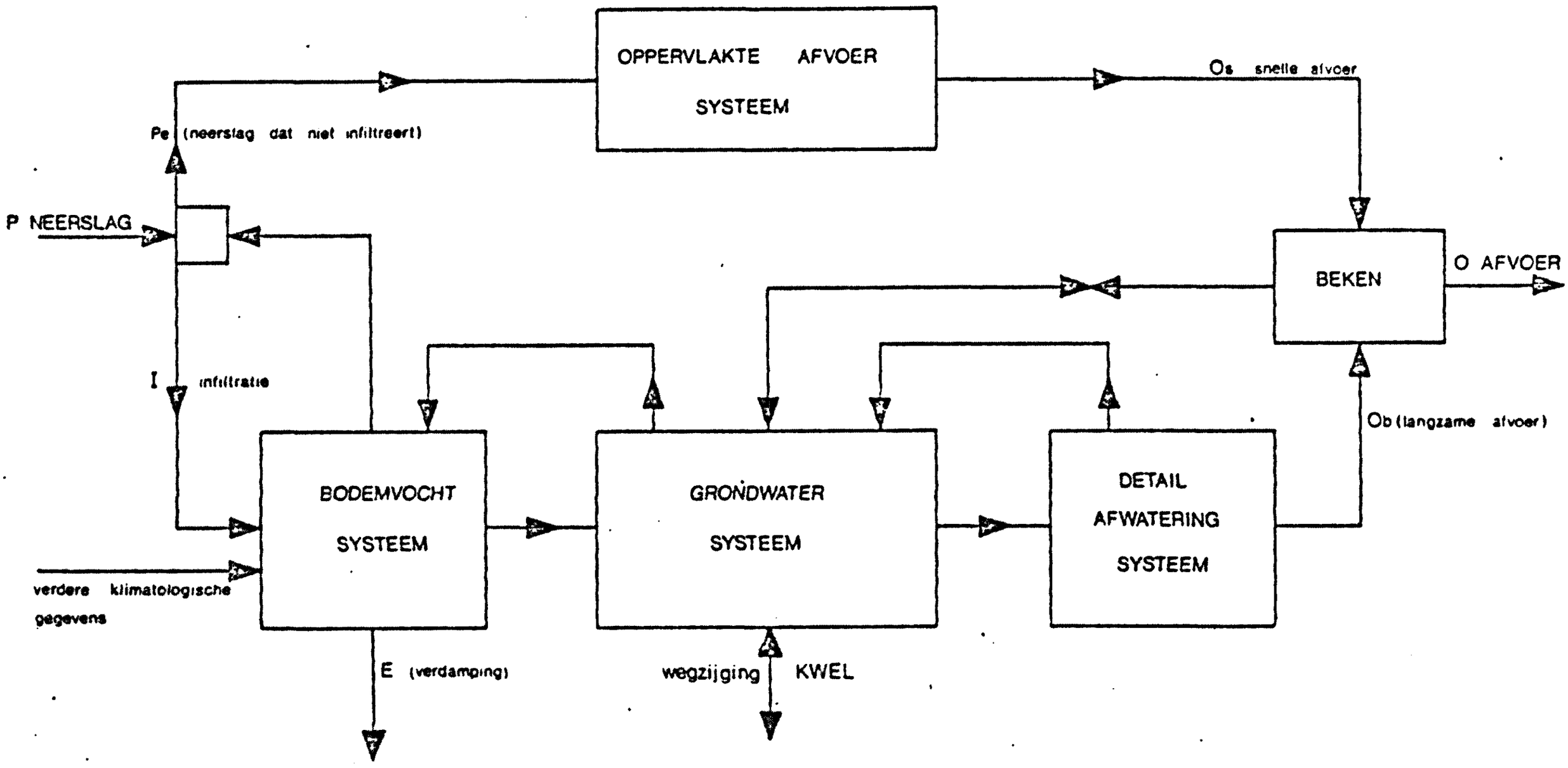

Fig. 2 Schematisch hydrologisch model van een stroomgebied.

Vanwege de in Nederland relatief ondiepe grondwaterstanden is het grondwatersysteem sterk gekoppeld aan het bodemvocht en afwaterings-systeem. De grondwaterstand ten opzichte van maaiveld bepaalt zowel de mogelijkheid van capillaire aanvoer van water ten behoeve van het bodemvochtsysteem, waaruit de vegetatie zijn water onttrekt, als de mogelijkheid tot berging van overtollige neerslag.
De samenhang tussen deze systemen maakt het noodzakelijk dat menselijke ingrepen in het grondwatersysteem, zoals bijvoorbeeld grondwater-onttrekking, peilbeheer, etc., moeten worden bestudeerd in relatie tot het bodemvochtsysteem en het oppervlaktewatersysteem.
Als illustratie voor deze samenhang is in tabel 1 een rekenvoorbeeld gegeven, ontleend aan het interim-rapport van de Commissie Bestu-dering Waterhuishouding Gelderland (1976).

Het rekenvoorbeeld grondwateronttrekking in tabel 1 geeft de water-balans in mm voor een gebied rondom een pompstation in Oost-Gelderland voor verschillende grondwateronttrekkingsstrategieën gedurende het groeiseizoen van 1971.
Het effect van de onttrekkingen op de verschillende termen van de waterbalans wordt duidelijk geillustreerd.
Soortgelijke balansen kunnen worden opgesteld voor bijvoorbeeld veranderingen in het peilbeheer.

- Tabel -

Tabel 1: Rekenvoorbeeld grondwateronttrekking.

De waterbalans voor I : de situatie zonder onttrekking
II : de situatie met onttrekking
III : de situatie met "winteronttrekking"
IV : de situatie met dubbele onttrekking en de gevolgen voor de termen van de waterbalans, waarbij de situaties II, III en IV steeds met I zijn vergeleken.

Waterbalans (mm)		I	II	III	IV
In:	Neerslag	508	508	508	508
	Verandering berging	55	65	66	71
		563	573	574	579
Uit :	Verdamping	465	460	461	456
	Oppervlaktewaterafvoer	23	21	19	16
	Grondwaterafvoer	75	46	48	14
	Onttrokken	0	46	46	93
		563	573	574	579
Gevolgen voor :					
- de termen van de waterbalans (mm)					
	Afname verdamping		5	4	9
	Afname oppervlaktewaterafvoer		2	4	7
	Afname grondwaterafvoer		29	27	61
	Toename berging		10	11	16
	Totale onttrekking		46	46	93

2.2 Fysisch mathematische theorie

In het navolgende zal de theorie van de grondwaterstroming kort worden behandeld.
Daartoe werd eerst het begrip grondwaterpotentiaal toegelicht, vervolgens worden de basisvergelijkingen afgeleid en tenslotte worden de randvoorwaarden behandeld.

2.2.1 Grondwaterpotentiaal

Water stroomt van plaatsen met hoge energie naar plaatsen met lage energie. De energietoestand van het water in de grond kan men omschrijven met het begrip potentiaal. Dit is een uitdrukking voor de kapaciteit van een massa eenheid water omwerk te doen in vergelijking met een massa eenheid vrij water die per definitie een potentiaal gelijk aan nul heeft.
In de hydrologie geeft men er de voorkeur aan de potentiaal niet per eenheid van de massa, maar per eenheid van gewicht te beschouwen. In dat geval heeft energie de dimensie van lengte, die gewoonlijk wordt uitgedrukt in 'lengte waterkolom'. Verder gaat men er van uit dat de dichtheid van het water ρ ($kg.m^{-3}$) en de versnelling van de zwaartekracht g (ms^{-2}) konstant zijn. De potentialen worden gedefinieerd ten opzichte van de referentietoestand van water (met een chemische samenstelling, die gelijk is aan het water in de grond) bij atmosferische druk en referentievlak nul.

De potentiaal bestaat in theorie uit een aantal deelpotentialen:

$$\phi = \psi_g + \psi_m + \psi_{p.hydr} + \psi_{p.ext} + \psi_{osm} \quad (m) \qquad (1)$$

waarin

ϕ = totale water potentiaal

ψ_g = zwaartekrachtspotentiaal, veroorzaakt door de zwaartekracht

ψ_m = matrix potentiaal, veroorzaakt door de interaktie van grond en water

$\psi_{p.hydr}$ = hydrostatische potentiaal, veroorzaakt door hydrostatische druk

$\psi_{p.ext}$ = pneumatische potentiaal, veroorzaakt door de externe gasdruk

ψ_{osm} = osmotische potentiaal, veroorzaakt door de osmotische krachten.

De zwaartekrachtspotentiaal ψ_g is in ieder punt gelijk aan de hoogte ten opzichte van een willekeurig referentievlak.

De matrixpotentiaal ψ_m is nul in de verzadigde zone (freatisch water) en negatief in de onverzadigde zone (capillair water). Hierbij wordt gemakshalve afgezien van de komplikaties die ontstaan door enerzijds luchtinsluiting in het freatisch water en anderzijds het voorkomen van een verzadigde capillaire zone.

Veelal wordt voor ψ_m eenvoudig ψ geschreven, aangeduid als de lokale stijghoogte ('capillary potential').
Teneinde de moeilijkheden van een negatieve stijghoogte in de onverzadigde zone te ontlopen wordt vaak gesproken van een vocht- of zuigspanning $\psi^* = -\psi$).

De hydrostatische potentiaal $\psi_{p.hydr}$ is nul in de onverzadigde zone en gelijk aan $p_h/\rho g$ in de verzadigde zone, waarin p_h is de hydrostatische druk van het water. Ze is gelijk aan de lengte ℓ van de vloeistofkolom in een stijgbuis.

De pneumatische potentiaal $\psi_{p.ext}$ kunnen we verwaarlozen omdat de externe druk in de grond praktisch gelijk is aan de atmosferische druk.

De osmotische potentiaal ψ_{osm} is gelijk aan nul omdat we meten ten opzichte van vrij water met dezelfde chemische samenstelling.

Alles bijeengenomen betekent dit voor de praktijk dat in een systeem met z als de vertikale ordinaat,positief naar boven gerekend, geldt:

$\phi = z + \ell$ voor de verzadigde zone (m)

$\phi = z + \psi$ voor de onverzadigde zone (m).

Verschillen in ϕ bepalen de richting en de grootte van de stroming van het grondwater.

2.2.2 Algemene basisvergelijkingen

De basis voor de berekeningen van grondwaterstroming is de wet van Darcy. In zijn algemene, 3-dimensionale vorm luidt deze wet

$$\bar{q} = - k (S_w) \nabla \phi \qquad (2)$$

waarbij

$\bar{q}$	=	(q_x, q_y, q_z) = flux	$(m^3.m^{-2}.d^{-1})$
k	=	doorlaatfaktor	$(m.\ d^{-1})$
S_w	=	relatieve waterverzadiging $(0 \leq S_w \leq 1)$	$(m^3\ .\ m^{-3})$
ϕ	=	grondwaterpotentiaal	(m)
$\nabla\phi$	=	$(\frac{\partial\phi}{\partial x}, \frac{\partial\phi}{\partial y}, \frac{\partial\phi}{\partial z})$ = grad ϕ	$(m.\ m^{-1})$

In het algemeen is de doorlaatfaktor k niet alleen afhankelijk van S_w, maar ook van de plaats (inhomogeniteit), stromingsrichting (anisotropie) en temperatuur.

De continuiteitsvergelijking wordt gevonden door een massabalans voor een oneindig klein volume-element op te stellen:

$$-\nabla.[\rho\ \bar{q}] + \rho Q = \frac{\partial}{\partial t} [\rho . n S_w] \qquad (3)$$

waarbij

$$\nabla.[\rho\ \bar{q}] = \frac{\partial}{\partial x} [\rho\ q_x] + \frac{\partial}{\partial y} [\rho\ q_y] + \frac{\partial}{\partial z} [\rho\ q_z] = \text{div}[\rho\ \bar{q}]$$

ρ	=	dichtheid van het water	$(kg.m^{-3})$
Q	=	hoeveelheid water van buiten het systeem toegevoerd, per volume eenheid, per tijdseenheid	$(m^3.m^{-3}.d^{-1})$
n	=	porositeit (poriënvolume)	$(m^3.m^{-3})$
t	=	tijd.	(d)

Substitutie van de wet van Darcy in de continuiteits-vergelijking geeft dan de algemene differentiaalvergelijking voor grondwaterstroming:

$$\nabla \cdot \left[\rho k(S_w) \nabla \phi \right] + \rho Q = \frac{\partial}{\partial t} \left[\rho n S_w \right] \qquad (4)$$

Omdat nu voor zowel de verzadigde als de onverzadigde zone uitgegaan kan worden van dezelfde stromingsvergelijking, ligt het voor de hand te zoeken naar een integrale numerieke benadering van beide systemen.
Hieraan werd in het buitenland op 2-dimensionaal niveau gewerkt door onder andere Rubin (1968), Hornberger c.s. (1969), Taylor en Luthin (1969), Verma en Brutsaert (1970) en Neuman (1973). De moeilijkheid die zich echter hierbij voordoet is dat de hydraulische doorlatendheid in de onverzadigde zone, in tegenstelling tot die van de verzadigde zone, niet konstant is, maar afhangt van de relatieve waterverzadiging van de grond. Als gevolg hiervan is een numerieke benadering van de stromingsvergelijking bijzonder lastig, waardoor een integrale oplossing van de gehele stroming ondanks de efficiënte numerieke rekentechniek voor de verzadigde zone, in het algemeen zal leiden tot modellen, die veel rekentijd vergen.
Freeze (1971) vond voor een 3-dimensionaal systeem tevens dat een enorme geheugen-kapaciteit van de computer vereist is, indien wat grotere gebieden werden doorgerekend.
In alle gevallen werd bovendien de verdamping als gegeven beschouwd, dus onafhankelijk van de stroming in de onverzadigde zone. In Nederland is door Feddes (1974) een oplossing gegeven voor 2-dimensionale onverzadigde/verzadigde stroming in een vertikaal vlak, waarbij tevens de verdamping via wateropname door de wortels in de beschouwing is betrokken.

Vanwege bovengenoemde redenen is bij de modellen dan ook een duidelijk onderscheid te maken tussen modellen voor de verzadigde grondwaterstroming (1, 2 en 3-dimensionaal) en modellen voor de onverzadigde grondwaterstroming (hoofdzakelijk 1-dimensionaal vertikaal of horizontaal).
Een koppeling tussen beide systemen is bij benadering mogelijk via de term Q van vergelijking (4), die zowel voor het verzadigd als onverzadigd systeem geldt. In Nederland is voor een 3-dimensionaal systeem door de Laat e.a. (1975,1976) deze benadering gekozen om tot een ekonomisch toepasbaar model voor grote gebieden te komen. Hierin wordt de verandering van de grondwaterstand berekend met het verzadigde model; de daaruit resulterende flux door het freatisch vlak wordt dan gebruikt als randvoorwaarde aan de onderkant van de onverzadigde zone.

Alvorens in te gaan op een verdere uitwerking van vergelijking (4) voor zowel de verzadigde grondwaterstroming als de onverzadigde grondwaterstroming, lijkt een toelichting op de term Q gewenst.
Uit het volgende zal blijken dat deze term enerzijds afhangt van de begrenzing van het beschouwde systeem en de modelaannamen, terwijl anderzijds deze term de relatie aangeeft met het grondwaterbeheer (onttrekking, infiltratie, peilbeheer oppervlaktewater en drainage).

- Uit -

Uit de gegeven definitie van Q blijkt, dat deze bepaald wordt door de begrenzing van het grondwatersysteem.
Voor het integrale systeem (verzadigd + onverzadigd) kan Q als funktie van x, y, z en t worden uitgesplitst.

$$Q = Q_e + Q_o + Q_g + Q_w \qquad (5)$$

waarin

Q_e de kunstmatige toevoer of onttrekking van grondwater,

Q_o de afstroming naar of toevoer vanuit het oppervlaktewater,

Q_g de vertikale stroming tussen de watervoerende pakketten voorstelt en

Q_w is samengesteld uit de voeding van onverzadigde zone (neerslag) en de uitdroging van de onverzadigde zone via de verdamping.

Voor het geval dat alleen het verzadigde grondwatersysteem wordt beschouwd, wordt in (5) Q_w gedefinieerd als de stroming naar of uit de onverzadigde zone.
Bij de meeste modellen wordt in dit geval de Q_w gelijk gesteld aan de nuttige neerslag, welke gelijk is aan neerslag minus verdamping.De relatie tussen het grondwater en het oppervlaktewater Q_o wordt bepaald door het potentiaal verschil tussen het grondwater en het oppervlaktewater en de weerstanden, die daarbij overwonnen moeten worden, zoals horizontale- , radiale- en intreeweerstanden.
Voor het geval dat meerdere watervoerende pakketten worden gescheiden door slecht doorlatende lagen, wordt dit systeem meestal benaderd door horizontale grondwaterstroming in de diverse watervoerende pakketten.
Vergelijking (4) wordt dan voor ieder watervoerend pakket uitgewerkt. De koppeling tussen de vergelijkingen vindt plaats door de term Q_g in de vergelijking (5).
Deze term geeft de vertikale stroming weer tussen de watervoerende pakketten. Deze wordt bepaald door het potentiaal verschil tussen de watervoerende pakketten en de vertikale weerstand, die ten gevolge van de slechtdoorlatende laag hierbij overwonnen moet worden.
Bij de beschouwing van uitsluitend 1-dimensionale onverzadigde grondwatersystemen bestaat Q uitsluitend uit Q_w, namelijk neerslag minus verdamping. Deze Q_w wordt weer bepaald door de vegetatie en het meteorologisch systeem.
Hierop wordt later teruggekomen bij de basisvergelijkingen van de onverzadigde zone. Ook aan de koppeling met het verzadigde systeem wordt dan enige aandacht gegeven.

2.2.3 Basisvergelijkingen voor de verzadigde zone

In het geval van verzadigde grondwaterstroming is $S_w = 1$, en is de doorlaatfaktor k konstant.

Vergelijking (4) kan dan worden geschreven als:

$$\nabla.[\ \rho k \nabla\phi\ ] + \rho\ Q\ = \frac{\partial}{\partial t}[\rho n\ ] \qquad (6)$$

Zowel n als ρ zijn daarbij funkties van de potentiaal ϕ .
Het produkt kan geschreven worden als:

$$\rho n = \rho(\ \phi_o).n\ (\phi_o).[\ 1 + C(\phi-\phi_o)] \qquad (7)$$

waarbij

ϕ_o = een referentiewaarde voor ϕ (m)
C = de compressibiliteit van de met water gevulde bodem. (m^{-1}).

Bij benadering geldt dat $\rho \approx \rho\ (\ \phi_o) =$ konstant.
Indien C konstant wordt verondersteld, dan geldt:

$$\frac{\partial}{\partial t}[\ \rho n\ ] = \rho n(\phi_o)\ C\ \frac{\partial\phi}{\partial t} \qquad (8)$$

Substitutie van (8) in (6) geeft dan:

$$\nabla.[\ k\nabla\phi] + Q\ =\ S\ \frac{\partial\phi}{\partial t} \qquad (9)$$

of

$$\frac{\partial}{\partial x}(k\frac{\partial\phi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(k\frac{\partial\phi}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(k\frac{\partial\phi}{\partial z}) + Q = S\frac{\partial\phi}{\partial t} \qquad (9a)$$

waarin

$S = n\ (\phi_o)\ C$ = bergingscoëfficient, dit is de hoeveelheid water die per volume eenheid vrijkomt indien de ϕ met 1 eenheid wordt verlaagd. $(m^3 . m^{-3} . m^{-1})$.

In de meeste gevallen zal het niet noodzakelijk zijn om grondwaterstroming in 3-dimensies te beschrijven.

In het geval van een louter horizontale stroming bijvoorbeeld is het grondwaterpotentiaaal ϕ niet afhankelijk van de vertikale coördinaat z .
Op identieke wijze is dan de differentiaal-vergelijking voor 2-dimensionale stroming af te leiden

$$\frac{\partial}{\partial x}\ (kD\ \frac{\partial\phi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}\ (kD\ \frac{\partial\phi}{\partial y})\ +\ Q\ =\ S\ \frac{\partial\phi}{\partial t} \qquad (10)$$

waarbij

D = dikte van het watervoerend pakket (m).

In dit geval luiden de definities van Q en S:

Q = hoeveelheid water van buiten het systeem toegevoerd per oppervlakte-eenheid, per tijdseenheid. $(m^3 . m^{-2} . d^{-1})$.

S = hoeveelheid water, die per oppervlakte-eenheid vrijkomt indien ϕ met 1 eenheid wordt verlaagd. $(m^3 . m^{-2} . m^{-1})$.

In het geval dat de stroming slechts in één richting plaatsvindt luidt de vergelijking

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(kA\frac{\partial \phi}{\partial x}\right) + Q = S\frac{\partial \phi}{\partial t} \qquad (11)$$

waarbij

A = oppervlak van de dwarsdoorsnede loodrecht op de x-richting. (m^2)

Ook in dit geval luidt de definitie van Q en S anders, en wel:

Q = hoeveelheid water van buiten het systeen toegevoerd per lengte eenheid, per tijdseenheid. ($m^3 . m^{-1} . d^{-1}$).

S = hoeveelheid water die per lengte eenheid vrijkomt indien de grondwater-potentiaal met 1 eenheid wordt verlaagd. ($m^3 . m^{-1} . m^{-1}$).

In het geval van stationaire stroming, dat wil zeggen, als $\frac{\partial \phi}{\partial t} = 0$, gaan de vergelijkingen (9a), (10) en (11) over in de bekende Laplace vergelijking voor respektievelijk drie-, twee- en één-dimensionale stroming.

Een analytische oplossing van deze vergelijkingen kan afhankelijk van de randvoorwaarden over het algemeen slechts voor zeer eenvoudige gevallen worden gevonden. Voor meer complexe gevallen kan met behulp van numerieke methoden een benaderende oplossing worden gevonden.

2.2.4 Basisvergelijkingen voor de onverzadigde zone

Bij de bespreking van het begrip potentiaal is naar voren gekomen dat de lokale stijghoogte van het bodemvocht ψ wordt veroorzaakt door de lokale interaktie van grond en water. Op en onder het freatisch vlak is $\psi = 0$. In de rusttoestand neemt met toenemende hoogte boven dit vlak ψ af, de grond kan het water moeilijker vasthouden en steeds meer porien zullen water verliezen. Hierdoor zal het vochtgehalte θ van de grond afnemen. Hieruit volgt een zekere relatie tussen θ en ψ :

$$\theta = f(\psi) \qquad (12)$$

Een dergelijk verband noemt men de waterretentiekurve of de vochtkarakteristiek van de bodem. Zoals eerder opgemerkt werkt men in de praktijk in plaats van met onderdrukken ψ liever met zuigspanningen ψ^*, waarbij $\psi^* = -\psi$.
De waarde van ψ^* varieert in de praktijk van 0 tot 10^7 cm. Om dit trajekt gemakkelijk in een grafiek te kunnen uitdrukken werd het begrip pF ingevoerd, gedefinieerd als de logarithme van de zuigspanning in cm waterkolom.

$$pF = {}^{10}\log(\psi^*) \qquad (13)$$

De vochtkarakteristieken worden meestal bepaald door water te onttrekken aan een initieel nat grondmonster. Wanneer men water toevoegt aan een initieel droog monster, zal het verband $\theta(\psi)$ dikwijls anders zijn. Er treedt hysteresis op. In het algemeen wordt hysteresis buiten beschouwing gelaten.

Bij verzadigde stroming is het totale porienvolume van de grond beschikbaar voor stroming; in de onverzadigde zone is echter een gedeelte van de porien gevuld met lucht die niet aan de stroming deelneemt. De doorlaatfaktor k is derhalve niet konstant, maar afhankelijk van de relatieve water verzadiging S_w. Per definitie is de relatieve waterverzadiging gelijk aan het quotient van het volumetrisch vochtgehalte θ en het porienvolume n ($S_w = \theta/n$).

Voor een bepaalde grondsoort is de doorlaatfaktor k dus afhankelijk van het vochtgehalte θ of (omdat $\theta = f(\psi)$ van de lokale stijghoogte ψ :

$$k = f(S_w) \quad \text{of} \quad k = f(\theta) \quad \text{of} \quad k = f(\psi) \qquad (14)$$

Voor de hydraulische doorlaatfaktor k wordt bij onverzadigde stroming soms de term capillair geleidingsvermogen gebruikt.

Voor praktische toepassingen worden ϕ en S_w in vergelijking (4) uitgedrukt in termen van plaatshoogte z, stijghoogte ϕ en volumetrisch vochtgehalte θ . Substitueert men $\phi = z + \psi$ en $nS_w = \theta$, dan wordt vergelijking (4)

$$\nabla \cdot [\, k(\theta)\ \nabla\ (z + \psi)\ ] - Q = \frac{\partial \theta}{\partial t} \qquad (15)$$

waarbij

Q = sink term die de wateropname door de wortels voorstelt (m^3 water m^{-3} grond d^{-1}) *

ρ konstant is verondersteld.

Aangezien de stroming in de onverzadigde zone voornamelijk in vertikale richting plaatsvindt (capillaire opstijging of infiltratie), kan men zich in de praktijk beperken tot 1 dimensie:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[k(\theta)\ \frac{\partial \psi}{\partial z} \right] + \frac{\partial k(\theta)}{\partial z} - Q \qquad (16)$$

In deze 1-dimensionale vertikale modellen wordt de neerslag ingevoerd als randkonditie.

In vergelijking (16) heeft men te maken met de twee afhankelijke variabelen θ en ψ . Daarom wordt dikwijls gebruik gemaakt van de betrekking:

$$\mathbb{D} = k \frac{d\psi}{d\theta} \qquad (m^2.d^{-1}.) \qquad (17)$$

welke (16) verandert in

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\mathbb{D}\ (\theta)\ \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] + \frac{\partial k(\theta)}{\partial z} - Q \qquad (18)$$

De faktor $\mathbb{D}$ wordt de'diffusivity' of vochtvereffeningscoëfficient genoemd, omdat de toegepaste transformatie de stroming analoog aan een diffusie proces maakt.
Vergelijking (18) staat bekend als de θ-vorm van de algemene stromingsvergelijking, welke alleen bruikbaar is voor uniforme bodemprofielen.

* De term Q vormt veelal de belangrijkste oorzaak voor wateronttrekking uit de onverzadigde zone, die hier echter buiten beschouwing moet worden gelaten.

In vergelijking (16) kan de zogenaamde differentiele vochtkapaciteit C

$$C = \frac{d\theta}{d\psi} \qquad (m^{-1}) \qquad (19)$$

worden ingevoerd, zodat (16) overgaat in

$$C(\psi)\ \frac{\partial\psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\ \left[k\ (\psi)\ (\frac{\partial\psi}{\partial z} + 1)\right] - Q \qquad (20)$$

In de praktijk worden de relaties $\theta(\psi)$, $k(\theta)$, of $k(\psi)$ en $D(\theta)$ dikwijls benaderd door empirische formules. In dat geval zijn voor vergelijkingen (18) en (20) voor eenvoudige stromingsproblemen analytische oplossingen te vinden. In verreweg de meeste gevallen is men echter aangewezen op numerieke oplossingsmethoden.

Randvoorwaarden

Teneinde de partiele differentiaal vergelijkingen die de stroming van het grondwater beschrijven, te kunnen oplossen, moeten ze worden voorzien van begin- en andere randvoorwaarden. Als beginvoorwaarde wordt dikwijls uitgegaan van een bekende waarde van de potentiaal op het tijdstip t = 0 :

$$\phi\ (\chi\ ,\ 0\ ) = \phi_o\ (\ \chi), \qquad (21)$$

waarin χ = (x, y, z) de ruimtelijke coördinaten zijn.

Wat betreft de voorwaarden die op ieder punt langs de rand R van het grondwatersysteem bekend moeten zijn, kunnen drie typen randvoorwaarden worden onderscheiden:

- Dirichlet type: de waarde van de potentiaal is gegeven:

$$\phi(\chi\ ,\ t) = \phi_p\ (\ \chi,t) \text{ op } R \qquad (22)$$

- Neumann type : de waarde van de flux loodrecht op de rand is gegeven:

$$[k\ \nabla\phi\ ].n_i = -\ V_p\ \ (\chi,t) \text{ op } R \qquad (23)$$

- gemengd type : de waarde van de potentiaal is gegeven op het gedeelte R_1 van de rand en de waarde van de flux op het komplementaire gedeelte R_2 van de rand.
  Dit betekent een kombinatie van (22) en (23).

In bovenstaande vergelijkingen zijn ϕ_p en V_p omschreven funkties van χ en t, en n_i is de eenheidsvector loodrecht op de rand R.

Bovenstaande randvoorwaarden gelden zowel voor de verzadigde als onverzadigde zone.

In het laatste geval kan zowel met de zuigspanning als het vochtgehalte worden gewerkt. In de praktijk zijn deze randvoorwaarden dikwijls niet bekend , waardoor andere voorwaarden moeten worden gesteld. Deze kunnen worden afgeleid van de meteorologische omstandigheden aan het maaiveld.

- Langs -

Langs het grensvlak tussen bodem en lucht kan de grond water verliezen naar de atmosfeer tengevolge van verdamping of water 'winnen' tengevolge van infiltratie. Terwijl de potentiële (i.e. de maximaal mogelijke) verdampingssnelheid van een bepaalde grond slechts afhangt van de meteorologische omstandigheden, wordt de werkelijke verdampingsflux door het maaiveldoppervlak beperkt door de mogelijkheid van het poreuze medium om water door te laten vanaf beneden. Op dezelfde wijze kan men zeggen dat wanneer de potentiele infiltratieflux (e.g. de neerslagintensiteit) de infiltratiekapaciteit van de grond overschrijdt, een gedeelte van het water tot oppervlakkige afstroming komt. Ook in dit geval wordt de potentiele infiltratiesnelheid bepaald door de atmosferische (of andere) externe omstandigheden, terwijl de werkelijke flux afhangt van de heersende vochttoestand in de grond.
De exacte randvoorwaarden kunnen dus niet a priori worden voorspeld. Een oplossing kan dan worden gezocht in het maximaliseren van de absolute waarde van de flux (daarbij het korrecte teken gebruikend) welke onderhevig is aan de voorwaarden

$$\left[k(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right] \leqslant \left[E^{*}_{s} \right] \qquad (24)$$

$$\psi_1 \leqslant \psi \leqslant 0 \qquad (25)$$

waarin E^{*}_{s} gelijk is aan de potentiele 'kale grond' verdampingsflux en ψ_1 de minimaal toegestane stijghoogte aan het maaiveld is, overeenkomend met omstandigheden te betitelen als 'lucht-droog'. Beide grootheden kunnen bepaald worden aan de hand van meteorologische gegevens.
Voor een toepassing van dit type atmosferische randvoorwaarden zie bijvoorbeeld Feddes et al (1974).

2.3 Oplossingsmethoden

Uit de enquête van de bestaande grondwatermodellen is gebleken dat verreweg de meeste modellen gebaseerd zijn op de eindige differentie methode of de eindige elementen methode.
De beide methoden worden in het kort behandeld.

In een aantal modellen wordt gebruik gemaakt van Runge-Kutta integratie, (e.g. Van den Akker,1975).
Daarnaast hebben zich in de laatste jaren een aantal nieuwe ontwikkelingen aangediend, die wellicht tot aantrekkelijke toepassingen kunnen leiden:

- analytische funktiemethode (van der Veer, 1976)
- vortex theorie (de Josselin de Jong, 1977)
- bronbelegging (Berkhoff).

2.3.1. Eindige differentie methode

Inleiding

Bij de eindige differentie methode worden de ruimte- en tijd parameters gediscretiseerd door een netwerk te superponeren op het beschouwde gebied. Deze methode berust op het principe de afgeleide in elk knooppunt van dit netwerk te

vervangen door de verhouding van de veranderingen in de variabelen over een klein maar eindig interval:

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = \lim_{x \to o} \frac{\Delta \phi}{\Delta x} \approx \frac{\Delta \phi}{\Delta x} \qquad (26)$$

Op deze wijze wordt een kontinu randvoorwaarde probleem gereduceerd tot een stelsel algebraïsche vergelijkingen, (Forsythe et al, 1960; Smith, 1965; Remson et al,1971). Bij de wiskundige formulering is gebruik gemaakt van de één-dimensionale vorm van de vergelijking voor grondwaterstroming (11). Op dezelfde wijze kan de wiskundige formulering voor de twee- en drie-dimensionale vorm worden afgeleid.
Vergelijking (11) is door substituties dimensieloos gemaakt:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + q = \frac{\partial \phi}{\partial t} \qquad (27)$$

Wiskundige formulering

Een expliciete benadering wordt verkregen door de tweede afgeleide naar x in (27) te vervangen door de differentie-benadering op tijdstap j, terwijl de afgeleide naar de tijd wordt vervangen door de differentie-benadering tussen de tijdstappen j en j+1.
In dit geval wordt vergelijking (27) :

$$\frac{\phi_{i+1,j} - 2\phi_{i,j} + \phi_{i-1,j}}{(\Delta x)^2} + \frac{\phi_{i,j+1} - \phi_{i,j}}{\Delta t} \qquad (28)$$

Toegepast op elk knooppunt bevat deze benadering één onbekende op tijdstap j+1 die expliciet opgelost kan worden uit de drie bekende waarden op tijdstap j (zie figuur 3).

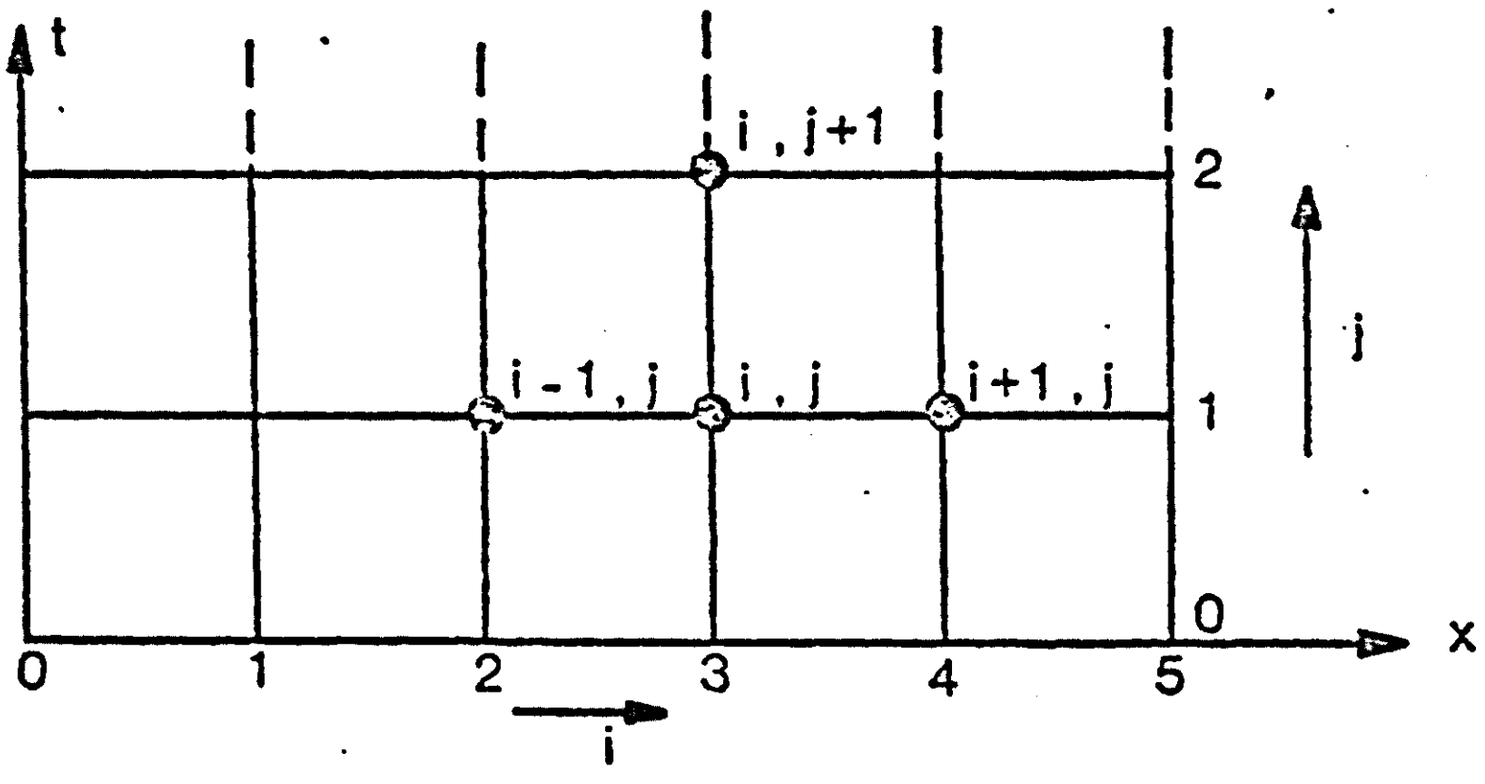

Fig. 3 Vierkantennet gesuperponeerd op x, t vlak voor expliciete benadering.

Wanneer als randvoorwaarde de funktie ϕ gegeven is, is het mogelijk tijdstap voor tijdstap de funktiewaarden van ϕ in alle knooppunten te berekenen.
Op deze wijze "loopt" de oplossing in de tijd vooruit.
Bewezen kan worden, dat de expliciete benadering alleen kan worden toegepast wanneer Δt niet groter is dan $\frac{1}{2} (\Delta x)^2$. (Forsythe et aI, 1960, Smith, 1965).

Een impliciete benadering wordt verkregen door de tweede afgeleide naar x te vervangen door de differentiebenadering op tijdstap j+1.
Vergelijking (27) wordt dan :

$$\frac{\phi_{i+1,\ j+1} - 2\phi_{i,j+1} + \phi_{i-1,j+1}}{(\Delta x)^2} + q = \frac{\phi_{i,j+1} - \phi_{i,j}}{\Delta t} \qquad (29)$$

Uit vergelijking (29) kan $\phi_{i,\ j+1}$ nu niet expliciet worden opgelost, omdat de overige termen nog onbekenden bevatten.

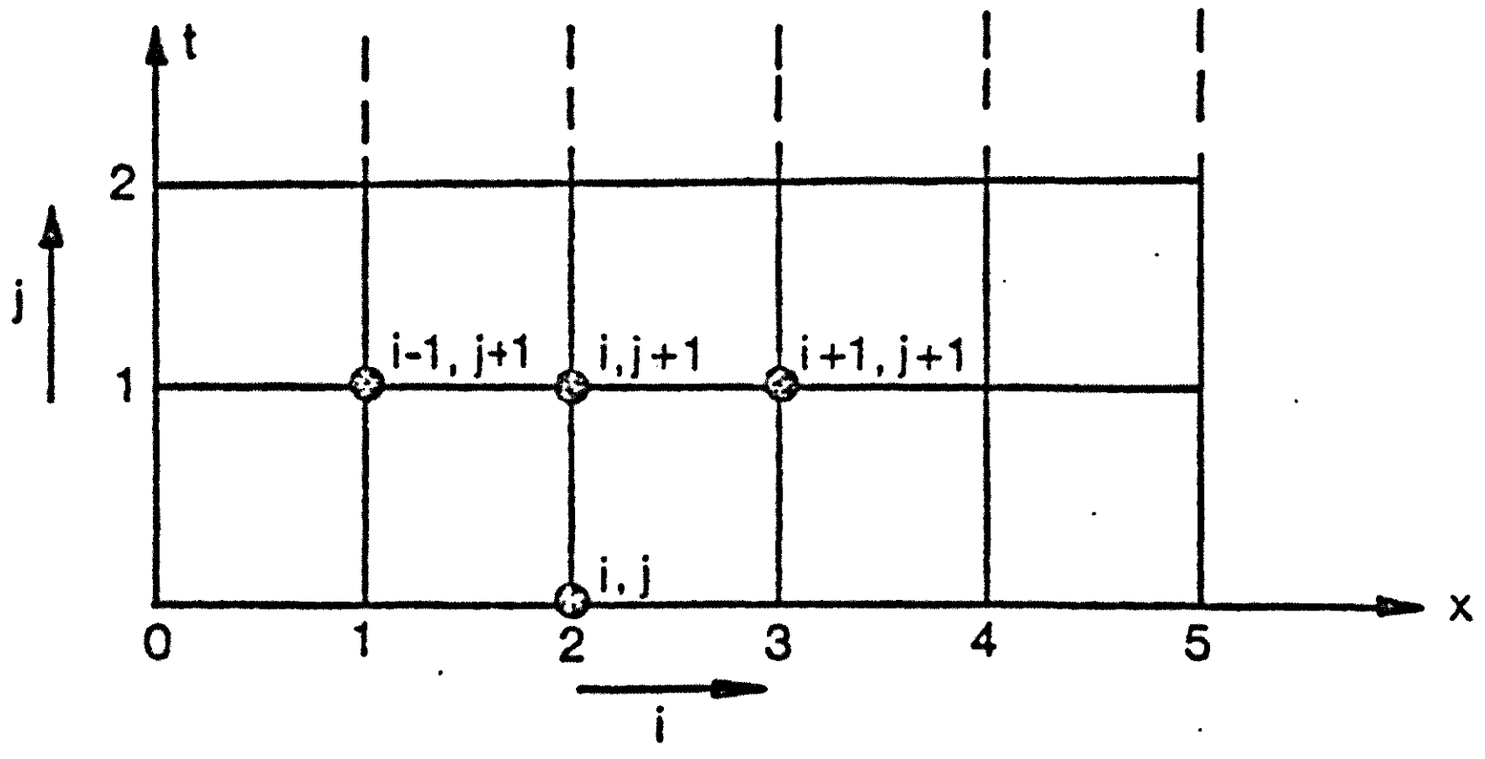

Fig. 4 Vierkantennet gesuperponeerd op x, t vlak voor impliciete benadering.

Op tijdstap j+1 (zie figuur 4) kan vergelijking (29) voor i=1,2,3,4 worden opgesteld; men heeft dan vier vergelijkingen met vier onbekenden die simultaan kunnen worden opgelost. Deze procedure wordt voor iedere tijdstap herhaald. Het voordeel van de impliciete benadering is, dat Δt en Δx onafhankelijk van elkaar kunnen worden gekozen.

In de literatuur zijn een aantal andere differentiebenaderingsmethoden beschreven; te noemen valt
- de Crank-Nicolson benadering die van de centrale differentie-benadering uitgaat (Crank et al,1974);
- de Douglas-Jones benadering die een modifikatie van de Crank-Nicolson methode is (Douglas et al,1963);

- de Peaceman-Rachford benadering, die afwisselend de expliciete en de impliciete benadering gebruikt (Peaceman et al, 1955).

Randvoorwaarden

Bij de gegeven beschrijving van de expliciete en impliciete benadering werd uitgegaan van randvoorwaarden van het Dirichlet type. Vaak zullen echter voor grondwaterstromingsproblemen randvoorwaarden van het Neumann type of van het gemengde type gelden. Hierdoor wordt aan het probleem één onbekende toegevoegd, nl. de waarde van de funktie zelf op de rand.
Stel dat voor vergelijking (27) de volgende randvoorwaarde is gegeven:

$$k \frac{\partial \phi}{\partial x} = c \quad \text{voor } x = 0,\ t \geqslant 0 \qquad (30)$$

Voor elke tijdstap wordt nu één extra knooppunt (-1,j+1) aan het netwerk toegevoegd.
Dit betekent , dat per tijdstap er twee onbekenden extra zijn, nl. $\phi_{-1,j+1}$ en $\phi_{0,j+1}$. Hiervoor moeten dus twee algebraïsche vergelijkingen worden toegevoegd.

De eerste volgt uit vergelijking (30) :

$$\frac{\phi_{1,j+1} - \phi_{-1,j+1}}{2\,\Delta x} = \frac{c}{k} \qquad (31)$$

Als tweede vergelijking kan men bijvoorbeeld een impliciete differentie-benadering (zie vergelijking (29) voor knooppunt 0,j+1 opstellen:

$$\frac{\phi_{1,j+1} - 2\phi_{0,j+1} + \phi_{-1,j+1}}{(\Delta x)^2} = \frac{\phi_{0,j+1} - \phi_{0,j}}{\Delta t} \qquad (32)$$

Op dezelfde wijze als bij de expliciete en impliciete benadering kan het probleem nu tijdstap voor tijdstap worden opgelost.
In de literatuur zijn ook andere benaderingen om randvoorwaarden van het Neumann type af te leiden beschreven (Lothin, 1958).

2.3.2 Eindige elementen methode

Inleiding

Bij de eindige elementen methode wordt evenals bij de eindige differentie methode gediscretiseerd naar ruimte en tijd. Het beschouwde gebied wordt opgedeeld in een aantal deelgebiedjes, elementen genaamd. Deze elementen kunnen in principe een willekeurige vorm en afmeting hebben. De keuze van de vorm en grootte van de elementen wordt bepaald door de geometrie van het beschouwde gebied en de vereiste nauwkeurigheid.
In die gebieden waar grote verschillen in grondwaterpotentiaal optreden (bijvoorbeeld rond pompputten) zal het gebruik van veel kleine elementen noodzakelijk zijn om de vereiste nauwkeurigheid te verkrijgen.

De hoekpunten van de elementen zijn de knooppunten. Indien er N knooppunten zijn dan wordt een benaderende oplossing ϕ_b voor ϕ gedefinieerd als een lineaire kombinatie van N basisfunkties L_i :

$$\phi_b(x,y,z,t) = \sum_{i=1}^{N} \phi_i(t) \quad L_i(x,y,z) \qquad (33)$$

De funkties L_i worden daarbij zodanig gekozen dat:

$L_i = 1$ in het knooppunt $j = i$

$L_i = 0$ in het knooppunt $j \neq i$

De coëfficienten ϕ_i zijn derhalve de waarden van de benaderende oplossing ϕ_b in de knooppunten i. Deze coëfficienten worden nu zodanig bepaald dat de benaderende oplossing ϕ_b zo dicht mogelijk ligt bij de werkelijke oplossing ϕ.

Wiskundige formulering

Bij de wiskundige formulering wordt uitgegaan van de 2-dimensionale vorm van de vergelijking voor grondwaterstroming (10). De formulering voor 3 dimensies of 1 dimensie is geheel analoog.

Om de coëfficienten ϕ_i uit vergelijking (33) zodanig te bepalen dat de benaderende oplossing zo dicht mogelijk ligt bij de werkelijke oplossing ϕ van vergelijking (10) worden veelal twee methodes toegepast, nl. een variatiemethode en een residuenmethode. Beide methodes zijn uitgebreid beschreven in de literatuur (Zienkiewicz, 1971; Finlayson,1972; Norrie et al, 1973).
In principe werken deze methodes als volgt:

- variatie-methode (in het bijzonder de Rayleigh-Ritz-methode):

  Er kan een funktie F ($\frac{\partial\phi}{\partial x}$, $\frac{\partial\phi}{\partial y}$, ϕ , x,y) gevonden worden zodanig dat de integraal van F over het beschouwde gebied G

$$I = \iint_G F \; d \; G \qquad (34)$$

  minimaal is voor de oplossing ϕ van vergelijking (10).

  Voor vergelijking (10) luidt deze funktie:

$$F = \tfrac{1}{2} \{ \; kD \left(\frac{\partial\phi}{\partial x} \right)^2 + kD \left(\frac{\partial\phi}{\partial y} \right)^2 \} - \phi \{ Q - S \frac{\partial\phi}{\partial t} \} \qquad (35)$$

  Indien de benaderende oplossing ϕ_b gesubstitueerd wordt in F, dan kan de integraal I berekend worden door de integratie element voor element uit te voeren.

I wordt dan geminimaliseerd met behulp van de coëfficient ϕ_i door :

$$\frac{\partial I}{\partial \phi_i} = 0 \qquad i = 1,N \tag{36}$$

te stellen. Als de afgeleide naar de tijd als volgt gediscretiseerd wordt:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\phi - \phi^o}{\Delta t} \tag{37}$$

waarbij ϕ de te berekenen waarde is en ϕ^o de bekende waarde van ϕ aan het begin van de tijdstap Δt, dan zijn de vergelijkingen (36) een stelsel van N lineaire vergelijkingen in de N onbekende ϕ. Met behulp van de bekende methoden is hiervan de oplossing te vinden;

- residuen-methode (in het bijzonder Galerkin's methode):

  Substitutie van de benaderende oplossing ϕ_b (33) in vergelijking (10) geeft:

$$R = \frac{\partial}{\partial x}\{kD \frac{\partial \phi_b}{\partial x}\} + \frac{\partial}{\partial y}\{kD \frac{\partial \phi_b}{\partial y}\} + Q - S \frac{\partial \phi_b}{\partial t} \tag{38}$$

  In het algemeen zal $R \neq 0$ zijn. De coëfficienten ϕ_i van de benaderende oplossing ϕ_b worden nu zodanig bepaald dat R minimaal is. Dat kan op vele manieren gebeuren. De bekendste methode is die van Galerkin. Saarbij wordt R geminimaliseerd door R orthogonaal te maken met de basisfunkties L_i, dat wil zeggen:

$$\iint_G RL_i \, dG = 0 \qquad i = 1,N \tag{39}$$

  De integratie geschiedt weer element voor element. Met de discretisatie van de afgeleide naar de tijd (37) vormt (39) weer een stelsel van N lineaire vergelijkingen in de N onbekenden ϕ_i.
  De oplossing daarvan is met bekende methoden te vinden.

Randvoorwaarden

De beginvoorwaarde wordt ingebracht door uit te gaan van een bekende waarde van ϕ . Randvoorwaarden kunnen zonder enig probleem worden toegepast bij de eindige elementen methode. De benodigde integraties (34) en (39) worden uitgevoerd met behulp van het integraal theorema van Green (Kreyszig, 1972), waardoor de stroming over de rand van het beschouwde gebied direkt in de vergelijking komt.

In het geval van een vaste potentiaal op de rand worden in de lineaire vergelijkingen (36) en (39) de potentialen van de knooppunten op de rand konstant gehouden en de

stroming over de rand berekend. In het geval van een gegeven randstroming wordt deze stroming in de vergelijkingen gesubstitueerd en de potentiaal in de randknooppunten berekend.

3. COMPUTERPROGRAMMATUUR

3.1 Inleiding

Bij de verwerking van gegevens met behulp van een computer is er sprake van twee soorten programmatuur: archiverende en rekenprogrammatuur.
Van archiverende programmatuur spreekt men in het geval van een louter verzamelen van gegevens en het bijhouden van een administratie. Gegevens worden dan opgeslagen op een schijvengeheugen of op een magnetische band.
Het computerprogramma verzorgt de administratie en kan worden gebruikt om gegevens toe te voegen, te wijzigen of te verwijderen. Dergelijke programmatuur kan van belang zijn als er grote hoeveelheden gegevens (bijvoorbeeld peilbuiswaarnemingen) verwerkt moeten worden.
Het is van belang dat in zo'n geval de organisatie van het gegevensbestand zodanig is opgebouwd dat op eenvoudige wijze de benodigde informatie uit het bestand kan worden betrokken. De uitvoer, die men dan verkrijgt, dient te voldoen aan de eisen van overzichtelijkheid en een zodanige struktuur te hebben, dat verdere verwerking met behulp van andere programmatuur (bijvoorbeeld rekenmodellen) mogelijk is.

De programmatuur voor die verdere verwerking zal op zijn beurt goed moeten aansluiten bij de organisatiestruktuur van de gegevensbestanden, opdat met geringe inspanning van de gebruiker een optimaal resultaat kan worden verkregen.
In dit verslag zal verder niet nader worden ingegaan op de archiverende programmatuur.

3.2 Rekenprogrammatuur

De tweede groep van belang zijnde programmatuur wordt gebruikt voor het uitvoeren van berekeningen. Soms zijn dat statische berekeningen met de in gegevensbestanden opgeslagen informatie. Veelal zijn het simulaties van de stroming van het grondwater. De hoeveelheid gegevens die daarbij wordt gebruikt kan sterk variëren.
Computerprogramma's waarmee bijvoorbeeld grondwaterstroming wordt gesimuleerd met behulp van peilbuiswaarnemingen in een groot gebied, zullen in het algemeen gebruik maken van veel gegevens.
Als resultaat van een dergelijke simulatie kan men dan gedetailleerde informatie verkrijgen over de verdeling van stijghoogten, debieten, etc. In zo'n geval is er sprake van een simulatie van de stroming in een bestaande of vroegere situatie, dan wel van een voorspelling. Met andere computerprogramma's is het mogelijk om, uitgaande van basisgegevens (zoals geometrie van een gebied en de doorlatendheidseigenschappen), een fiktieve stroming te simuleren. Als regel zijn bij dergelijke programma's aanzienlijk minder gegevens nodig dan in het vorige geval, omdat basisgegevens in het algemeen veel minder talrijk zijn dan peilbuiswaarnemingen. De waarnemingen aan het fiktieve stromingsbeeld (de berekeningsresultaten) kunnen desgewenst weer

worden gebruikt om berekende en gemeten grootheden aan elkaar te relateren. Daarmee wordt een scherper inzicht verkregen in de geohydrologische eigenschappen van een bepaald gebied.

De kategorie computerprogrammatuur, waarbij fiktieve situaties kunnen worden gesimuleerd, kan een belangrijk instrumentarium zijn in het kwalitatieve en kwantitatieve grondwaterbeheer. Door fiktieve situaties te simuleren is de beheerder in staat om de gevolgen van beheersmaatregelen beter te ondersteunen. Verder kan dergelijke programmatuur goede diensten bewijzen bij de bestudering van de oorzaken van optredende problemen. Daarbij tracht men door variatie van parameters een zodanige stroming te simuleren, dat waargenomen verschijnselen verklaard kunnen worden. Op basis daarvan kan de beheerder dan effektieve maatregelen nemen.

Bij de beoordeling van computerprogramma's uit gebruikersoogpunt zullen zowel afzonderlijke programma's als programmapakketten kunnen worden beschouwd. Een programmapakket is een verzameling van op elkaar afgestemde computerprogramma's, die als geheel of in gedeelten kan worden gebruikt , afhankelijk van de aard van het probleem.
De uiteindelijke keuze van een bepaald programma of programmapakket zal worden beïnvloed door de volgende aspekten:

<u>bruikbaarheid:</u>
de gebruiker zal vooral willen beoordelen in hoeverre een computerprogramma tijdig antwoord kan geven op zijn specifieke vragen;

<u>vereiste schematisatie:</u>
de voorkeur van de gebruiker zal meestal uitgaan naar programmatuur waarbij hij zijn gegevens zo volledig mogelijk kan laten verwerken en waarbij hij niet gedwongen is om eerst allerlei schematiserende bewerkingen uit te voeren;

<u>nauwkeurigheid:</u>
deze moet worden bezien in het licht van de nauwkeurigheid van de invoergegevens: als bijvoorbeeld de c-waarde slechts met een nauwkeurigheid van 10 á 20 % bekend is, heeft het geen zin om berekeningen uit te voeren die kwelcijfers op 1% nauwkeurig geven;

<u>betrouwbaarheid:</u>
met de betrouwbaarheid wordt bedoeld het vermogen van het programma om alle problemen waarvoor het in principe geschikt moet zijn, ook inderdaad op te lossen. Het kan gevaarlijk zijn als er in bijzondere gevallen foutieve uitkomsten worden verkregen, zonder dat dit bij de gebruiker vooraf bekend is, of door de programmatuur eventueel automatisch wordt gesignaleerd. In feite hangt dit samen met de dokumentatie, omdat dergelijke situaties in de dokumentatie van het toegangsgebied behoren te worden uitgezonderd;

<u>tijd:</u>
de tijd die verloopt tussen het stellen van een bepaald probleem en het verkrijgen van de oplossing kan behalve van het probleem zelf ook afhankelijk zijn van de computerprogrammatuur.
Immers de hoeveelheid invoer en daarmee de vereiste hoeveelheid controlewerk op de invoer kan per programma aanzienlijke verschillen vertonen;

- plaats -

plaats:
een pakket dat aan alle overige gebruikerswensen voldoet, maar dat praktisch onbereikbaar is, heeft voor een gebruiker geen betekenis;

kosten:
de kosten worden meestal afgewogen tegen het belang van het oplossen van een specifiek probleem ('Hoeveel heeft men over voor een goede oplossing van het probleem');

hulp:
de hulp,die aan de gebruiker kan worden verleend bij het gebruik van het computerprogramma en eventueel daarbij optredende problemen, kan van belang zijn; vooral bij grote en gekompliceerde programma's is goede hulp essentieel;

dokumentatie:
een goede dokumentatie, waarin de hiervoor genoemde aspekten worden beschreven, is een belangrijk hulpmiddel bij de keuze en het gebruik van een geschikt programma.

Naast deze algemene gebruikersaspekten zijn er nog enkele computertechnische aspekten, die voor de gebruiker van belang kunnen zijn. Met name de benodigde hoeveelheid geheugenruimte en de rekentijden kunnen bepalend zijn, of een programma altijd ter beschikking staat, of alleen tijdens bepaalde uren van de dag gebruikt kan worden.

In vele gevallen geldt dat een gebruiker, die met variërende probleem-typen te maken krijgt, de voorkeur zal geven aan een zo algemeen mogelijk toepasbaar model. Dat zal dan meestal gebaseerd zijn op een van de numerieke rekentechnieken, die behandeld zijn in hoofdstuk 2.3 (Oplossingsmethoden).
Om een inzicht te verkrijgen in de algemene toepasbaarheid van een computerprogramma kunnen de volgende punten als leiddraad dienen.

- Aantal dimensies:
het meest algemeen zijn programma's die een drie-dimensionale stroming kunnen beschrijven. Tot nu toe zijn dergelijke computerprogramma's schaars. In vele gevallen zal de gebruiker echter kunnen volstaan met een twee-dimensionaal model; in sommige gevallen is een één-dimensionale berekening al voldoende.
Belangrijk is dat het 'comfort' dat een model biedt (bijvoorbeeld een geringe hoeveelheid invoerwerk) ongewijzigd blijft als er met een andere aantal dimensies wordt gerekend. Een drie-dimensionaal model bijvoorbeeld biedt pas evenveel 'komfort' als een twee-dimensionaal model met een goede netwerkgenerator, als binnen willekeurige ruimtelijke begrenzingen ook ruimtelijke elementen automatisch kunnen worden gegenereerd, zonder dat daar extra handwerk bij te pas komt.

- Willekeurig gevormde stromingsgebieden:
zij kunnen in het algemeen wel worden doorgerekend met de numerieke rekentechnieken die in hoofdstuk 2.3 (Oplossingsmethoden) zijn vermeld.De hoeveelheid invoerwerk die daarvoor van de gebruiker wordt gevraagd kan sterk verschillen. Het gebruik van een goede netwerkgenerator kan de hoeveelheid invoerwerk zeer sterk beperken.

Bij de beoordeling dient echter in rekening te worden gebracht in hoeverre deze ook noodzakelijke verfijningen van een elementennet kunnen genereren in een deel van het stroomgebied (bijvoorbeeld bij putten en bronnen).

- Anisotropie:
  dit houdt in dat de doorlatendheid richtingsafhankelijk is. Onder Nederlandse omstandigheden is veelal de doorlatendheid in horizontale richting groter dan in vertikale richting. Het is belangrijk dat het computerprogramma ook anisotropie in een willekeurige richting in rekening kan brengen.

- Inhomogeniteiten:
  deze komen veelal voor in de vorm van een afwisseling van klei-, veen- en zandlagen of door variaties van de doorlatendheidseigenschappen in een zandpakket. Ook kunnen relatief dunne maar toch weerstand biedende klei- en sliblaagjes voorkomen (bijvoorbeeld op de oevers en bodem van waterlopen of tussen verschillende zandpakketten). Scheurvorming kan weer een extra komplikatie opleveren.
  Aangegeven kan worden in hoeverre een computerprogramma met al deze soort inhomogeniteiten rekening kan houden en of er beperkingen zijn ten aanzien van maximale doorlatendheidsverschillen, etc.

- Putten en bronnen:
  de aanwezigheid van putten en bronnen zal in het algemeen geen problemen opleveren bij de berekening. Wel kan de aanwezigheid, zoals vermeld, invloed hebben op de gewenste elementenverdeling binnen een gebied en daarmee soms op de hoeveelheid te verrichten invoerwerk.

- Meerdere vloeistoffen:
  voor berekeningen met zoet en zout water is het van belang dat een model het rekenen met meerdere vloeistoffen toelaat. Onderscheid wordt daarbij gemaakt tussen stroming van één vloeistof die grenst aan een stilstaande vloeistof (meestal zout water) en en stroming waarbij twee of meer vloeistoffen gelijktijdig in beweging zijn. Ook kan gewenst zijn dat het computerprogramma geleidelijke veranderingen in de dichtheid van de vloeistof in rekening kan brengen.

- Niet stationaire stroming:
  deze speelt vooral een rol bij freatisch water, spanningswater in samendrukbare lagen en stroming met meerdere vloeistoffen.
  In het algemeen geldt dat programma's die geschikt zijn voor niet-stationaire berekeningen, ook gebruikt kunnen worden om een stationaire toestand te berekenen.

- Meer lagen systemen:
  dit zijn systemen waarin de stroming semi drie-dimensionaal kan worden voorgesteld. In de bodem zijn dan een aantal horizontale zandlagen gescheiden door weerstandbiedende klei- en veenlagen. In elke horizontale zandlaag is de stroming praktisch tweedimensionaal. Tussen de zandlagen onderling vindt er toe- en afvoer van water plaats als gevolg van praktisch vertikale stroming door de weerstandbiedende lagen.

- Bij alle modellen kan worden aangegeven of de stroming plaats vindt in de verzadigde of in de onverzadigde zone, of dat

wellicht beide stromingen worden gekombineerd.
Bij de modellen kan verder nog worden aangegeven of er, en zo ja in welke mate, een koppeling mogelijk is met andere modellen (landbouwmodellen, ekonomische modellen, etc.).
In bepaalde gevallen kan het van belang zijn dat een computer-programma gemakkelijk de mogelijkheid biedt tot het uitvoeren van gevoeiligheidsanalyses ten aanzien van parameters die het probleem bepalen.

- Belangrijk bij de wijze van gebruik is het aantal handelingen dat de gebruiker moet verrichten om resultaat te verkrijgen. Daaronder wordt ook gerekend het werk aan de vereiste schematisaties. Bij toepassing van een netwerk-generator wordt de hoeveelheid invoer-werk veelal zeer sterk beperkt. Wel kan het dan soms nog nodig zijn een visuele controle uit te oefenen op het gegenereerde netwerk door eerst een (automatisch vervaardigde) tekening te bekijken en eventueel nog wijzigingen uit te voeren aan de elementennummering. Aanzienlijk gekompliceerder wordt het als in de omgeving van putten en bronnen of in bepaalde delen van het stroomgebied netwerkverfijningen nodig zijn.
Sommige netwerk-generatoren zullen dergelijke problemen zonder moeite aan kunnen; in andere gevallen zal men tijdrovend extra werk moeten verrichten om het elementen-netwerk op de vereiste wijze aan te passen.

- Bij de wijze van gebruik is ook van belang welke mogelijkheid de gebruiker heeft voor het bewaren van gegevens, die volgen uit een berekening of uit waarnemeningen. Met name als het gaat om waarnemingsresultaten zal hij geïnteresseerd zijn in het bestaan van hulpprogrammatuur (dat zijn andere onderdelen van een programma-pakket), waarmee waarnemingsreeksen kunnen worden getoetst en gecorreleerd.

- Nauw samenhangend met de wijze van gebruik zijn de kosten.
Deze zijn sterk probleem-afhankelijk; ze hangen bovendien samen met de mate waarin werd geschematiseerd. Op de kosten is verder van invloed de in het programma gebruikte rekenmethode. Met name bij de niet-stationaire stromingen heeft de toelaatbare tijdstap-grootte een grote invloed.
Het toeslagpercentage, dat op de rekenkosten wordt opgelegd, is echter ook vaak een sterk prijsbepalende faktor. In die toeslag zitten ontwikkelingskosten en een winstpercentage verwerkt.
Deze toeslag kan variëren van nul tot in extreme gevallen 1000% of meer.

- Onder de overdraagbaarheid van een computerprogramma wordt verstaan de mate waarin het programma zonder bijzondere voorzieningen op verschillende computers kan worden gebruikt. Dit aspekt is van belang omdat vele computers bijzondere extra faciliteiten hebben ten aanzien van programmering die bij andere computers niet of in gewijzigde vorm voorkomen.
Een programma dat daarvan gebruik maakt is in het algemeen minder goed overdraagbaar en zal aangepast moeten worden bij gebruik van een andere computer. Computerprogramma's die van dergelijke bijzondere faciliteiten geen gebruik maken en die zijn geprogrammeerd in een standaard programmataal, zijn in het algemeen goed overdraagbaar.

- Onder -

- Onder het onderhoud van de computer wordt verstaan de werkzaamheden die moeten worden uitgevoerd als er iets niet naar behoren blijkt te werken (programmagericht onderhoud), of als er iets aan het computersysteem wordt gewijzigd.

  Van meer belang voor de gebruiker is het aspekt van de eerdergenoemde benodigde geheugenruimte en rekentijden van het programma.
  Als die zeer groot zijn, is de kans groot dat het gebruik van het programma tot konflikten leidt met andere werkzaamheden van de computer, omdat een te groot beslag op de kapaciteit van de computer wordt gelegd. In die gevallen zal het veelal alleen mogelijk zijn om te rekenen op tijden dat er betrekkelijk weinig andere computergebruikers zijn, bijvoorbeeld 's nachts of in het weekend. Computerprogramma's die relatief weinig geheugenruimte en rekentijden vereisen zijn wat dat betreft in het voordeel, omdat er veelal overdag binnen zeer korte tijd resultaten mee kunnen worden verkregen.

4. ENQUETE-RESULTATEN

4.1 Behoeftenpakket

In tabel 2 is in de kolommen 1 en 2 een overzicht gegeven van de belangrijkste menselijke activiteiten en de daarvoor geldende voorwaarden, die betrekkeling hebben op de waterhuishouding, waarbij de nadruk ligt op het grondwaterbeheer.
In kolom 3 zijn de maatregelen aangegeven die moeten worden getroffen om aan genoemde voorwaarden te kunnen voldoen. Het effekt van deze maatregelen op de grondwaterstand is weergegeven in kolom 4.
Vervolgens is in kolom 5 aangegeven welke andere aktiviteiten door die maatregelen worden beïnvloed.
In de kolommen 6 t/m 9 zijn respektievelijk vermeld de instanties die uitvoering van de aktiviteiten bevorderen, de instanties die ten aanzien van de maatregelen beleid voeren en de instellingen die het beleid respektievelijk voorbereiden en onderbouwen door middel van adviezen en onderzoek.
Uit de tabel blijkt dat maatregelen, genomen ten behoeve van de ene aktiviteit, een andere aktiviteit zullen kunnen beïnvloeden, veelal in ongunstige zin. Dit leidt er toe dat in vele gevallen een belangenafweging noodzakelijk zal zijn.
Een dergelijke belangenafweging kan slechts geschieden door kwantificering van effekten en neveneffekten van ingrepen in de waterhuishouding. Het hiervoor benodigde onderzoek zal in onderlinge samenhang moeten plaatsvinden op landelijk, regionaal en lokaal niveau.

Op landelijk niveau gaat het bij dit onderzoek in hoofdzaak om verdeling van het oppervlaktewater, waarbij belangen van scheepvaart, zoutbestrijding, landbouw, drinkwater- en industriewatervoorziening een grote rol spelen.
Het zal duidelijk zijn dat het beheer van de rijkswateren een belangrijke randvoorwaarde vormt voor het regionale grondwaterbeheer. Dit geldt zowel voor perioden van grote droogte als voor perioden met veel wateroverlast.

Regionaal van aard zijn in het algemeen waterbalansstudie-onderzoek met betrekking tot de waterhuishouding zoals winningsmogelijkheden,etc. en onderzoek voor een provinciaal grondwaterbeleidsplan.

Lokaal onderzoek vindt plaats ten behoeve van de afweging van belangen rond een onttrekking of infiltratie, ontwatering, ontgronding, bronbemaling, etc., en indien een regeling voor de vergoeding van schade ten gevolge van deze aktiviteiten moet worden ontworpen.

Tijdens de enquêtes is gebleken,dat onder de gebruikers veelal geen duidelijkheid bestaat over hetgeen men verwacht op het gebied van de grondwatermodellen. Dit geldt niet zozeer voor het lokale niveau (uitwerking pompproefgegevens, doorrekenen van pompstations, etc.) als wel voor het regionale en landelijke niveau.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Aktiviteit	Voorwaarden	Maatregelen, werken	Hoofd-effekt	Beïnvloeding van andere aktiviteiten	Uitvoering van aktiviteiten door:	Beleid, vergunning, subsidie	Beleids-voorbereiding	Beleids-onderbouwend onderzoek
Bewoning Verkeer	Droog	Inpoldering Ontpoldering Riolering Dijken Zandwinning Bronbemaling	Grond-waterstands-daling	Landbouw Drink- en industrie watervoor-ziening Natuur-beheer	Rijk Provincie Gemeente Waterschap	Rijk Provincie Gemeente Waterschap	Rijk Provincie Gemeente Water-schappen Water-leiding-bedrijven	Rijks-diensten Instituten Ingenieurs-bureaus Universiteiten / Hogescholen
Landbouw	Optimale grondwater-stand	Inpoldering Beekregulatie Stuwen Sloten Dijken Beregening: uit grondwater uit opp.water Bemaling waterinlaat	Peilbeheer-sing: hogere of lagere grond-water-stand	Drink- en industrie watervoor-ziening Natuur-beheer Scheep-vaart	Waterschap Landbouwers	Rijk Provincie Waterschap		
Drink- en industrie watervoor-ziening	Kwaliteit Kwantiteit	Waterwin-plaatsen Beschermings-zones Infiltratie	Water-stands-daling, ev. stijging	Landbouw Natuur-beheer Scheepvaart Wonen (via) bronbemaling en zand-winning)	Waterleiding-bedrijven Industrie	Rijk Provincie Waterschap		
Scheep-vaart	Peil open water	Stuwen Sluizen Kanalen Dijken Zandwinning Bronbemaling	Hogere of lagere grondw.-stand, kwel	Landbouw Drink- en Industrie watervoorz. Natuur-beheer	Rijk Provincie Waterschap	Rijk Provincie Waterschap		
Natuur-beheer	Conser-vering	Aankoop en beheer van terreinen		Landbouw Drink- en ind watervoorz. Bewoning Scheepvaart	Rijk Particuliere organisaties	Rijk Provincie		

Tabel 2. Overzicht van aktiviteiten en voorwaarden voor grondwaterbeheer

Tabel 3 geeft een overzicht van de antwoorden op de eerste vijf vragen van de enquête naar de behoefte aan grondwatermodellen. Uit de beantwoording van de overige vragen van deze enquête (zie bijlage 2) zijn geen konklusies te trekken, omdat de antwoorden daarvoor te fragmentaris van aard waren en in veel gevallen zelfs ontbraken.

Tabel 3 Antwoorden op enige enquêtevragen onder de gebruikers

Vraag 1: Waarvoor denkt men het model nodig te hebben ?
A. Beleidsvragen
Opstellen adviezen grondwaterwinning.
Opstellen schaderegelingen.
Relatie waterbeheersing/winbaar grondwater.
Voorbereiding waterbeheersingswerken.
Bepaling in- en externe beperkingen van wateraanvoermogelijkheden.
Relatie peilbeheersing bebouwde kom - landelijk gebied.
Invloed waterhuishoudkundige maatregelen c.q. waterwinning op natuurgebieden.
Maatregelen ter voorkoming van deze invloed.
Grondverbeteringsadviezen.
Effekt van grondwaterstandsverandering op gebruikseigenschappen van de grond.
B. Type vragen
Beïnvloeding landbouwproduktie - natuurgebieden.
Verzilting grond- en oppervlaktewater.
Hydrologische grenzen.
Relatie infiltratie - kwaliteit grondwater.
Relatie neerslag - afvoer, basisafvoer.
Beschermingszones bij waterwinplaatsen.
Relatie grondwaterstand - ecosystemen, o.a. via bodemfysische grootheden.
Bemaling bouwputten, drainage.
Infiltratie van afvalwater.
Belasting op geo-technische konstructies.
Spanningsgolven in water tijdens heien.

Tabel 3 (vervolg)

C. Type problemen

Grondwaterstandsanalyse.

Waterbalans.

Zetting.

Relatie neerslag - grondwaterstand - afvoer, resp. aanvoer - landbouwproduktie.

Drainageafstand - slootafstand.

Stuwen - slootpeilen.

Invloed grondwaterwinning.

Snel verlopende processen (golfindringing).

Konstruktieve problemen (dijkbouw).

Simulatie pompproeven.

Kwel.

Niet-stationaire grondwaterstroming.

Zoutwaterverdringing via putinfiltratie.

Stroming in de direkte omgeving van putten.

D. Modeltechnisch

Opslag, verwerking, statistiek van gegevens.

Gevoeligheidsanalyse ten aanzien van randvoorwaarden.

Met de tijd variërende randvoorwaarden.

Drie-dimensionale modellen.

Meerlagen stroming.

Tabel 3 (vervolg)

Vraag 2: Voor welke schaal moet het model geschikt zijn ?
Loopt uiteen van zeer lokaal tot (zo mogelijk) landelijk.
Vraag 3: Wat is uw beleids-/beheersveld, resp. studie-/onderzoeksveld?
Oppervlaktewaterbeheer. Grondwaterbeheer. Beïnvloeding landbouw- en natuurgebieden. Verzilting. Hydrologische grenzen. Zettingen. Bronbemaling. Beschermingszones waterwingebieden. Subsidiëring waterstaatswerken. Opzet en omvang waterwinning. Drinkwatervoorziening. Kunstmatige infiltratie. Invloed grondwaterstroming op stabiliteit van dijken.
Vraag 4: Op welke termijn verwacht u antwoord ?
Variërend van enkele dagen tot circa één jaar.

Tabel 3 (vervolg)

Vraag 5: Wat moet het model kunnen simuleren (benodigde output) ?
Grondwaterstanden, isohypsen.
Grondwaterstroming, stationair en niet-stationair.
Afvoer, kwel.
Infiltratie, inzijging.
Geo-hydrologische bodemkonstanten.
Potentialen in kleipakketten.
Stijghoogteverdeling.
Overdrukken onder dijkbekleding.
Freatische berging en elastische berging.
Demping en indringing van golven.
Drie-dimensionale stroming.
Inhomogeniteiten.
Anisotropie.
Putten en bronnen.
Axiaal symmetrische problemen.
Gelijktijdige stroming van meerdere vloeistoffen.
Debieten.
Invloed van verdamping en neerslag.
Vochtgehalte, vochtspanning, capillaire opstijging.
Zoutgehalte.
Interaktie grond- /oppervlaktewater.
Verdamping.
Plaatsbepaling zoet-zout grensvlak.

4.2 Bestaande programmatuur

De door de ad-hoc groep uitgevoerde enquête onder de "bouwers" van grondwatermodellen heeft een grote hoeveelheid informatie omtrent de in Nederland bestaande grondwatermodellen opgeleverd. Deze informatie is in de tabellen 4 t/m 16 weergegeven.

Tabel 4 geeft een overzicht van de bestaande grondwatermodellen, verdeeld in de volgende groeperingen:

- modellen voor verzadigde stroming;
- modellen voor onverzadigde stroming;
- gekombineerde modellen.

verzadigd	stationair	2-dim.	hor.	LM1; LM4(IWA124); IWA139;THEO; FLOP1; FLOP2; IWA132: ICW1; ICW3	zie tabel 5
			vert.	IWA153; RWRO1(RWRO6); WIDMOS; ICW2; AGSO3	zie tabel 6
		3-dim.		STATRECT-2; TRIST; IWA135(IWA136); v.d.Akker(ALMERE); WL/W316-1	zie tabel 7
	niet-stationair	2-dim.	hor.	MOTGRO; ILRI1; FRONT; HEIDEMY1; WL/S135-1; TYSON	zie tabel 8
			vert.	MOTGRO; IWA154; LM6(IWA128); MUFLO3/4; RWRO3 (RWRO5; RWRO8; RWR10; RWR12; RWR13); WL/S135-2; AGSO1(ASGO2)	zie tabel 9
		3-dim.		SEEP; TRANSRECT-2; v.BAKEL	zie tabel 10
onverzadigd	stationair	1-dim.	vert.	CAP.OPST.; WL/S349-1	zie tabel 11
	niet stationair	1-dim.	vert.	HEIDONS; FLOW; FEDDES;SOILWAT; v.KEULEN; WL/S349-2	zie tabel 12
gekombineerd	stationair	2-dim.	vert.	BOELS	zie tabel 13
	niet-stationair	1-dim.	vert.	MAKKINK-v.HEEMST	zie tabel 14
		2-dim.	vert.	UNSAT-2; MM2	zie tabel 15
		3-dim.		de LAAT-v.d.AKKER(SUM2,WL/S349-3)	zie tabel 16

Tabel 4. Overzichtstabel van bestaande grondwatermodellen

In dit laatste type komt zowel de verzadigde als de onverzadigde zone voor.
Elke groepering is daarbij onderverdeeld in subgroepen voor stationaire en niet-stationaire grondwaterstroming en voor zover noodzakelijk is verder een onderverdeling in één-, twee- of drie-dimensionale grondwaterstroming aangebracht.
Deze indeling is gekozen omdat het, gezien de resultaten van de behoefte-enquête, niet mogelijk was een probleemgerichte indeling te maken.

De individuele modellen zijn steeds vermeld bij de groep die voor dat model de ruimste toepassingsmogelijkheden aangeeft. Immers twee- resp. drie-dimensionale modellen zullen meestal ook geschikt zijn voor het berekenen van één-, resp. twee-dimensionale stromingen. Zo kunnen ook veelal niet-stationaire modellen worden gebruikt voor het berekenen van stationaire stromingen.

De tabellen 5 t/ 15 geven per rubriek gedetailleerde informatie over de modellen voor wat betreft invoergegevens, begin- en randvoorwaarden, uitvoer, toetsing, enkele computertechnische aspekten en de beschikbaarheid.
Informatie is alleen opgenomen indien zij voor de desbetreffende tabel relevant is. Zo is bijvoorbeeld voor de stationaire modellen de rubriek beginvoorwaarden niet opgenomen in de tabel.

Bij de in de tabellen gepresenteerde gegevens dienen voorts de volgende kanttekeningen te worden geplaatst:

- het overzicht van de bestaande grondwatermodellen is slechts een moment-opname met als uiterste datum: 30 juni 1977;
- de in de tabellen verwerkte informatie is direkt verkregen van de geënquêteerde diensten en instellingen en door de ad-hoc groep zonder meer overgenomen;
- in de tabellen wordt onderscheid gemaakt tussen voorwaardelijke en onvoorwaardelijke beschikbaarheid.
  Onder voorwaardelijke beschikbaarheid wordt verstaan dat de modellen alleen gebruikt kunnen worden onder de kondities die door de betreffende instelling of dienst worden gesteld;
- een vrij groot aantal modellen lijkt op elkaar en heeft waarschijnlijk hetzelfde basismodel als grondslag.
  Daar de taak van de ad-hoc groep slechts een inventariserende was, zijn deze modellen als afzonderlijke modellen opgenomen, indien zij door de geënquêteerde diensten en instellingen als zodanig werden weergegeven;
- er is geen enkele informatie opgenomen omtrent de rekenkosten. Deze kosten zijn zo sterk probleemafhankelijk, dat er nauwelijks iets van te zeggen valt. Bovendien zullen deze kosten in het algemeen relatief laag zijn ten opzichte van de kosten die gemaakt moeten worden om de invoergegevens te verzamelen.

In bijlage 4 wordt tenslotte een beknopte omschrijving van de modellen gegeven, alsmede de kontaktpersonen voor deze modellen bij de verschillende instellingen en diensten.

Tabel 5. Modellen voor verzadigde, stationaire, 2-dimensionale stroming in een horizontaal vlak.

		LM 1	LM 4 (IWA 124)	IWA 139	THEO	FLOP 1	FLOP 2	IWA 132	ICW 1	ICW 3
INVOER										
Hydrologische constanten	doorlatendheid	+	+	+	+	-	+	+	+	+
	inhomogeniteit	+	+	-	+	-	-	+	+	-
	anisotropie	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	dikte watervoerend pakket	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	weerstand slecht doorlatende laag	-	-	+	-	-	+	-	-	-
	bergingscoefficient/eff. porositeit	-	-	-	-	+	+	-	-	-
	intree/radiale weerstand	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	drainage weerstand	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Randvoorwaarden	potentiaal	+	+	-	+	-	-	+	+	+
	ondoorlatende rand	+	+	-	+	-	-	+	-	+
	flux over de rand	-	-	-	+	-	-	+	-	-
	puntonttrekking/-infiltratie	-	+	+	+	+	+	+	-	+
	nuttige neerslag	-	-	+	+	-	-	+	-	+
	natuurlijke grondwater stroming	-	-	-	-	+	+	-	-	-
Netwerkgeneratie		-	-	-	+	-	-	-	-	-
UITVOER										
Hydrologische waarden	potentiaal	+	+	-	+	-	-	+	+	+
	flux	-	-	-	+	-	-	+	+	-
	puntonttrekking/-infiltratie	-	-	-	-	-	-	+	-	-
	afvoer naar drainage middelen	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	stroomlijnen	-	-	+	-	+	+	-	-	-
	aequipotentiaallijnen	-	-/+	-	+	-	-	-	-	-
	verblijftijden	-	-	+	-	+	+	-	-	-
	waterbalans	-	-	-	-	-	-	+	+	-
Wijze van uitvoer	print	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	plot	-	-/+	+	+	+	+	-	-	-
Gevoeligheidsanalyse		-	-	+	-	-	-	+	-	-
Toetsing	analytische oplossing	+	+/-	-	+	+	+	-	+	+
	veldmeting	-	-	-	+	-	-	-	+	-
	schaalmodel	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rekenmethode	eindige differenties	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	eindige elementen	+	+	-	+	-	-	+	-	+
	Runga Kutta	-	-	+	-	+	+	-	-	-
Computer	IBM	+	+	-	+	+	+	-	-	-
	CDC/Cyber	-	-	+	+	+	+	-	-	-
	DEC	-	-	-	-	-	-	-	+	+
	Honeywell Bull	-	-	+	-	-	-	+	-	-
Taal	Fortran	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Algol	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Beschikbaarheid	voorwaardelijk	-	-	+	+	-	-	+	-	-
	onvoorwaardelijk	+	+	-	-	+	+	-	+	+
Handleiding	systeem	-	-	+	-	-	-	+	+	+
	gebruiker	-	-	-	-	+	+	-	+	+

Tabel 6. Modellen voor verzadigde, stationaire, 2-dimensionale stroming in een vertikaal vlak.

		IWA 153	RWR01 RWR06	WIDMOS	ICW 2	AGS 03
INVOER						
Hydrologische constanten	doorlatendheid	+	+	+	+	+
	inhomogeniteit	-	+/-	+	-	-
	anisotropie	-	-	-	-	-
	dikte watervoerend pakket	+	+	-	+	+
	weerstand slecht doorlatende laag	+	-	-	-	-
	bergingscoefficient/eff. porositeit	-	+	-	-	+
	intree/radiale weerstand	-	-	+	-	-
	zoet/zout	+	-	-	-	-
Randvoorwaarden	potentiaal	+	+	+	+	+
	ondoorlatende rand	-	+	-	+	+
	flux over de rand	-	+	-	-	-
	puntonttrekking/-infiltratie	+	-	-	-	-
	nuttige neerslag	+	+	-	-	+
	zoet/zout grensvlak	+	-	-	-	-
Netwerkgeneratie		-	-	-	+	-
UITVOER						
Hydrologische waarden	potentiaal	+	+	+	+	+
	flux	-	+	+	-	-
	puntonttrekking/-infiltratie	+	-	-	-	-
	afvoer naar drainage middelen	-	-	+	-	-
	stroomlijnen	-	-	-	-	-
	aequipotentiaallijnen	-	-	-	-	-
	verblijftijden	-	-	-	-	-
	waterbalans	-	+	-	-	-
	zoet/zout grensvlak	+	-	-	-	-
Wijze van uitvoer	print	+	+	+	+	+
	plot	-	+	-	-	+
Gevoeligheidsanalyse		+	-	+	-	-
Toetsing	analytische oplossing	+	+	-	+	+
	veldmeting	+	-	-	-	-
	schaalmodel	+	-	-	-	-
Rekenmethode	eindige differenties	+	+	+	+	+
Computer	DEC	-	+	+	+	+
	Honeywell Bull	+	-	-	-	-
Taal	Fortran	+	+	+	+	+
Beschikbaarheid	voorwaardelijk	+	-	-	-	-
	onvoorwaardelijk	-	+	+	+	+
Handleiding	systeem	+	-	+	+	-
	gebruiker	-	-	-	+	-

Tabel 7. Modellen voor verzadigde, stationaire, 3-dimensionale stroming.

		STATRECT-2	TRIST	IWA135 (IWA136)	v.d. Akker (ALMERE)	WL/W316-1
INVOER						
Hydrologische constanten	doorlatendheid	+	+	+	+	+
	inhomogeniteit	+	+	+	+	-
	anisotropie	-	-	-	-	-
	dikte watervoerend pakket	+	+	+	+	+
	weerstand slecht doorlatende laag	+	+	+	+	-
	intree/radiale weerstand	+	+	-	+	-
	drainage weerstand	+	+	-	-	-
	zoet/zout	-	-	+	-	-
Randvoorwaarden	potentiaal	+	+	+	+	+
	ondoorlatende rand	+	+	+	+	+
	flux over de rand	-	+	+	+	-
	puntonttrekking/-infiltratie	+	+	+	+	-
	nuttige neerslag	+	+	+	+	-
	zoet/zout grensvlak	-	-	+	-	-
Netwerkgeneratie		-	+	+	-	-
UITVOER						
Hydrologische waarden	potentiaal	+	+	+	+	+
	flux	+	+	+	+	+
	puntonttrekking/-infiltratie	+	-	-	-	-
	afvoer naar drainagemiddelen	+	+	-	+	-
	stroomlijnen	-	-	-	-	+
	aequipotentiaallijnen	+	+	-	-	+
	verblijftijden	-	-	-	-	-
	waterbalans	+	+	+	+	-
	zoet/zout grensvlak	-	-	+	-	-
Wijze van uitvoer	print	+	+	+	+	+
	plot	+	+	-	-	-
Gevoeligheidsanalyse		+	-	+	-	+
Toetsing	analytische oplossing	-	-	-	-	+
	veldmeting	-	-	+	+	-
	schaalmodel	+	-	-	-	-
Rekenmethode	eindige elementen	+	+	+	+	-
	bronbelegging	-	-	-	-	+
Computer	IBM	+	+	-	-	-
	CDC/Cyber	-	-	-	+	+
	Honeywell Bull	-	-	+	-	-
Taal	Fortran	+	+	+	+	+
Beschikbaarheid	voorwaardelijk	+	+	+	-	+
	onvoorwaardelijk	-	-	-	+	-
Handleiding	systeem	-	-	+	-	-
	gebruiker	-	-	-	-	-

Tabel 8. Modellen voor verzadigde, niet-stationaire, 2-dimensionale stroming in een horizontaal vlak.

		MOIGRO	ILRI I	FRONT	HEIDEMY I	WL/S135-1	TYSON
INVOER							
Hydrologische constanten	doorlatendheid	+	+	+	+	+	+
	inhomogeniteit	+	+	-	+	+	+
	anisotropie	+	-	-	-	-	+
	dikte watervoerend pakket	+	+	+	+	+	+
	weerstand slecht doorlatende laag	+	-	-	-	-	-
	bergingscoefficient/eff. porositeit	+	+	+	+	+	+
	intree/radiale weerstand	+	-	-	+	-	-
	drainage weerstand	+	-	-	+	-	+
	zoet/zout	+	-	-	-	-	-
Beginvoorwaarden	potentiaal	+	+	-	+	+	+
Randvoorwaarden	potentiaal	+	+	-	+	+	+
	ondoorlatende rand	+	+	-	+	+	-
	flux over de rand	+	+	-	+	+	+
	puntonttrekking/-infiltratie	+	+	+	+	+	+
	nuttige neerslag	+	+	-	+	+	+
	zoet/zout grensvlak	+	-	-	-	-	-
	natuurlijke grondwater stroming	-	-	+	-	-	-
Netwerkgeneratie		-	-	-	-	-	-
UITVOER							
Hydrologische waarden	potentiaal	+	+	-	+	+	+
	flux	+	+	-	+	+	+
	puntonttrekking/-infiltratie	+	+	-	-	-	-
	afvoer naar drainagemiddelen	-	-	-	+	-	+
	stroomlijnen	-	-	+	-	-	-
	aequipotentiaallijnen	-	-	-	-	+	-
	verblijftijden	-	-	+	-	-	-
	waterbalans	+	+	-	+	+	+
	zoet/zout grensvlak	+	-	-	-	-	-
Wijze van uitvoer	print	+	+	+	+	+	+
	plot	-	-	+	-	+	-
Gevoeligheidsanalyse		+	+	-	-	+	-
Toetsing	analytische oplossing	+	-	+	-	+	-
	veldmeting	-	+	-	-	-	+
	schaalmodel	-	-	-	-	-	-
Rekenmethode	eindige differenties	-	+	-	+	-	+
	eindige elementen	-	-	-	-	+	-
	analytische funkties	+	-	-	-	-	-
	Runga Kutta	-	-	+	-	-	-
Computer	IBM	+	+	+	-	-	-
	CDC	-	+	-	+	+	-
	P1400	+	-	-	-	-	-
	DEC	-	-	-	-	-	+
	PDP	-	+	-	-	-	-
Taal	Fortran	+	+	+	+	+	+
Beschikbaarheid	voorwaardelijk	+	-	-	+	+	-
	onvoorwaardelijk	-	+	+	-	-	+
Handleiding	systeem	-	+	-	+	+	-
	gebruiker	+	-	+	-	+	+

Tabel 9. Modellen voor verzadigde, niet-stationaire, 2-dimensionale stroming in een vertikaal vlak.

		NOTGRO	IWA 154	LN6 (IWA128)	NUFLO 3/4	RWR03 (RWR05, RWR09, RWR10, RWR12, RWR13,	WL/S135-2	AGS 01/02
INVOER								
Hydrologische constanten	doorlatendheid	+	+	+	+	+	+	+
	inhomogeniteit	+	-	+	-	+	+	-
	anisotropie	+	-	-	-	-	-	-
	dikte watervoerend pakket	+	+	+	+	+	-	+
	weerstand slecht doorlatende laag	+	+	-	-	-	-	-
	bergingscoefficient/eff. porositeit	+	-	+	-	+	+	+
	intree/radiale weerstand	+	-	-	-	-	-	-
	zoet/zout	+	+	-	+	-	-	-
Beginvoorwaarden	potentiaal	+	+	+	+	+	+	+
Randvoorwaarden	potentiaal	+	+	+	+	+	+	+
	ondoorlatende rand	+	-	+	+	+	+	+
	flux over de rand	+	-	-	-	+	-	-
	puntonttrekking/-infiltratie	+	+	-	+	-	-	-
	nuttige neerslag	+	+	-	-	+	-	+
	zoet/zout grensvlak	+	+	-	+	-	-	-
Netwerkgeneratie		-	-	-	-	-	-	-
UITVOER								
Hydrologische waarden	potentiaal	+	+	+	-	+	+	+
	flux	+	-	+	-	+	-	-
	puntonttrekking/-infiltratie	+	+	-	-	-	-	-
	afvoer naar drainagemiddelen	-	-	-	-	+	-	-
	stroomlijnen	-	-	-	-	-	-	-
	aequipotentiaallijnen	-	-	-	-	-	-	-
	verblijftijden	-	-	-	-	-	-	-
	waterbalans	+	-	-	-	-	-	-
	zoet/zout grensvlak	+	+	-	+	-	-	-
Wijze van uitvoer	print	+	+	+	+	+	+	+
	plot	-	-	-	-	+	-	+
Gevoeligheidsanalyse		+	+	-	-	-	+	-
Toetsing	analytische oplossing	+	-	+	-	+	+	+
	veldmeting	-	-	-	-	-	-	-
	schaalmodel	-	+	-	+	-	-	-
Rekenmethode	eindige differentie	-	+	-	-	+	-	+
	eindige elementen	-	-	+	-	-	+	-
	analytische funkties	+	-	-	-	-	-	-
	vortices	-	-	-	+	-	-	-
Computer	IBM	+	+	+	+	-	-	-
	CDC/Cyber	-	-	-	-	-	+	-
	P1400	+	-	-	-	-	-	-
	DEC	-	-	-	-	+	-	+
	Honeywell Bull	-	+	+	+	-	-	-
Taal	Fortran	+	+	+	+	+	+	+
Beschikbaarheid	voorwaardelijk	+	+	-	-	-	+	-
	onvoorwaardelijk	-	-	+	+	+	-	+
Handleiding	systeem	-	+	-/+	-	-	+	-
	gebruiker	+	-	-	-	-	-	-

Tabel 10. Modellen voor verzadigde, niet-stationaire, 3-dimensionale stroming.

		SEEP	TRANSRECT-2	VAN BAKEL
INVOER				
Hydrologische constanten	doorlatendheid	+	+	+
	inhomogeniteit	+	+	+
	anisotropie	+	-	-
	dikte watervoerend pakket	+	+	+
	weerstand slecht doorlatende laag	+	+	-
	bergingscoefficient/eff. porositeit	+	+	+
	intree/radiale weerstand	-	+	-
	drainage weerstand	-	+	-
	zoet/zout	+	-	-
Beginvoorwaarden	potentiaal	+	+	+
Randvoorwaarden	potentiaal	+	+	+
	ondoorlatende rand	+	+	+
	flux over de rand	-	-	+
	puntonttrekking/-infiltratie	+	+	+
	nuttige neerslag	+	+	+
	zoet/zout grensvlak	+	-	-
Netwerkgeneratie		+	-	-
UITVOER				
Hydrologische waarden	potentiaal	+	+	+
	flux	-	+	-
	puntonttrekking/-infiltratie	+	+	-
	afvoer naar drainage middelen	-	+	-
	stroomlijnen	+	-	-
	aequipotentiaallijnen	+	+	-
	verblijftijden	+	-	-
	waterbalans	+	+	-
	zoet/zout grensvlak	+	-	-
Wijze van uitvoer	print	+	+	+
	plot	+	+	-
Gevoeligheidsanalyse		-	+	-
Toetsing	analytische oplossing	+	-	+
	veldmeting	+	-	-
	schaalmodel	-	-	-
Rekenmethode	eindige differenties	-	-	+
	eindige elementen	+	+	-
Computer	IBM	+	+	-
	P1400	+	-	-
	DEC	-	-	+
	PDP	+	-	-
Taal	Fortran	+	+	+
Beschikbaarheid	voorwaardelijk	+	+	-
	onvoorwaardelijk	-	-	+
Handleiding	systeem	+	-	-
	gebruiker	+	-	-

Tabel 11. Modellen voor onverzadigde, stationaire, 1-dimensionale vertikale stroming.

		cap. opst.	WL/S349-1
INVOER			
Hydrologische constanten	doorlatendheid	+	-
	inhomogeniteit	+	-
	onverzadigde doorlatendheid	+	+
	vochtspanning	+	+
	wortelzone	-	-
Randvoorwaarden	potentiaal	+	-
	vochtgehalte/-spanning	+	+
	potentiele verdamping	-	+
	neerslag	-	+
UITVOER			
Hydrologische waarden	potentiaal	-	-
	flux	-	-
	puntonttrekking/-infiltratie	-	-
	vochtgehalte/-spanning	+	+
	actuele verdamping	-	-
	cap. flux door phreatisch vlak	+	-
	waterbalans	+	-
Wijze van uitvoer	print	+	+
	plot	-	+
Gevoeligheidsanalyse		-	+
Toetsing	analytische oplossing	-	-
	veldmeting	+	-
	schaalmodel	-	-
Rekenmethode	eindige differenties	+	-
	Runga Kutta	-	+
Computer	CDC/Cyber	+	+
Taal	Fortran	+	+
Beschikbaarheid	voorwaardelijk	-	+
	onvoorwaardelijk	+	-
Handleiding	systeem	+	+
	gebruiker	-	+

Tabel 12. Modellen voor onverzadigde, niet-stationaire, 1-dimensionale vertikale stroming.

		HEIDONS	FLOW	FEDDES	SOILWAT	VAN KEULEN	WL/S349-2
INVOER							
Hydrologische constanten	doorlatendheid	+	+	+	+	-	-
	inhomogeniteit	+	+	-	+	-	-
	onverzadigde doorlatendheid	+	+	+	+	-	+
	vochtspanning	+	+	+	+	+	+
	wortelzone	+	-	+	+	+	-
Beginvoorwaarden	potentiaal	+	+	+	+	-	-
	vochtgehalte/-spanning	-	+	+	+	+	+
Randvoorwaarden	potentiaal	+	-	+	+	-	-
	vochtgehalte/-spanning	+	-	+	+	+	+
	potentiele verdamping	+	-	+	+	+	+
	neerslag	+	+	+	+	+	+
UITVOER							
Hydrologische waarden	potentiaal	+	+	-	-	-	-
	flux	-	+	+	+	-	+
	puntonttrekking/-infiltratie	-	-	+	+	+	-
	vochtgehalte/-spanning	-	+	+	+	+	+
	actuele verdamping	+	-	+	+	+	-
	cap. flux door phreatisch vlak	-	+	+	+	-	+
	waterbalans	-	+	+	+	+	+
Wijze van uitvoer	print	+	+	+	+	+	+
	plot	-	-	-	-	+	+
Gevoeligheidsanalyse		-	+	+	+	+	+
Toetsing	analytische oplossing	-	+	-	-	-	-
	veldmeting	-	+	+	+	+	-
	schaalmodel	-	+	-	-	-	-
Rekenmethode	eindige differenties	+	+	+	+	+	+
Computer	IBM	-	-	+	+	+	-
	CDC/Cyber	+	+	+	+	-	+
	DEC	-	-	-	-	+	-
	PDP	-	+	-	-	-	-
Taal	Fortran	+	+	+	+	-	+
	CSMP	-	-	-	-	+	
Beschikbaarheid	voorwaardelijk	-	-	-	-	-	+
	onvoorwaardelijk	-	+	+	+	+	-
Handleiding	systeem	-	-	-	-	+	+
	gebruiker	+	-	-	-	+	-

Tabel 13. Modellen voor gekombineerde, stationaire, 2-dimensionale stroming in een vertikaal vlak.

		BOELS
INVOER		
Hydrologische constanten	doorlatendheid	+
	inhomogeniteit	-
	anisotropie	+
	dikte watervoerend pakket	+
	weerstand slecht doorlatende laag	-
	bergingscoefficient/eff. porositeit	-
	onverzadigde doorlatendheid	+
	vochtspanning	-
	intree/radiale weerstand	-
	zoet/zout	-
	wortelzone	-
Beginvoorwaarden	potentiaal	+
	vochtgehalte/-spanning	-
Randvoorwaarden	potentiaal	+
	ondoorlatende rand	+
	flux over de rand	-
	puntonttrekking/-infiltratie	-
	vochtgehalte/-spanning	-
	potentiele verdamping	-
	neerslag	+
	zoet/zout grensvlak	-
Netwerkgeneratie		-
UITVOER		
Hydrologische waarden	potentiaal	+
	flux	+
	puntonttrekking/-infiltratie	-
	vochtgehalte/-spanning	+
	actuele verdamping	-
	cap. flux door phreatisch vlak	+
	afvoer naar drainagemiddelen	-
	stroomlijnen	-
	aequipotentiaallijnen	-
	verblijftijden	-
	waterbalans	+
	zoet/zout grensvlak	-
Wijze van uitvoer	print	+
	plot	-
Gevoeligheidsanalyse		-
Toetsing	analytische oplossing	+
	veldmeting	-
	schaalmodel	-
Rekenmethode	eindige differenties	+
Computer	CDC/Cyber	+
Taal	Fortran	+
Beschikbaarheid	voorwaardelijk	-
	onvoorwaardelijk	+
Handleiding	systeem	-
	gebruiker	-

Tabel 14. Modellen voor gekombineerde, niet-stationaire, 1-dimensionale vertikale stroming.

		MAKKINK/VAN HEEMST
INVOER		
Hydrologische constanten	doorlatendheid	+
	inhomogeniteit	-
	dikte watervoerend pakket	+
	weerstand slecht doorlatende laag	-
	bergingscoefficient/eff. porositeit	+
	onverzadigde doorlatendheid	+
	vochtspanning	+
	intree/radiale weerstand	+
	drainage weerstand	+
	zoet/zout	-
	wortelzone	+
Beginvoorwaarden	potentiaal	+
	vochtgehalte/-spanning	+
Randvoorwaarden	potentiaal	-
	puntonttrekking/-infiltratie	-
	vochtgehalte/-spanning	+
	potentiele verdamping	+
	neerslag	+
	zoet/zout grensvlak	-
UITVOER		
Hydrologische waarden	potentiaal	+
	flux	+
	puntonttrekking/-infiltratie	-
	vochtgehalte/-spanning	+
	actuele verdamping	+
	cap. flux door phreatisch vlak	+
	afvoer naar drainage middelen	+
	waterbalans	+
Wijze van uitvoer	print	+
	plot	-
Gevoeligheidsanalyse		+
Toetsing	analytische oplossing	-
	veldmeting	+
	schaalmodel	-
Rekenmethode	eindige differenties	+
Computer	CDC/Cyber	+
Taal	Fortran	+
Beschikbaarheid	voorwaardelijk	-
	onvoorwaardelijk	+
Handleiding	systeem	+
	gebruiker	+

Tabel 15. Modellen voor gekombineerde, niet-stationaire, 2-dimensionale stroming in een vertikaal vlak.

		UNSAT-2	MM2
INVOER			
Hydrologische constanten	doorlatendheid	+	+
	inhomogeniteit	+	-
	anisotropie	+	-
	dikte watervoerend pakket	+	+
	weerstand slecht doorlatende laag	+	-
	bergingscoefficient/eff.porositeit	+	+
	onverzadigde doorlatendheid	+	+
	vochtspanning	+	+
	intree/radiale weerstand	-	-
	drainage weerstand	-	-
	zoet/zout	-	-
	wortelzone	+	-
Beginvoorwaarden	potentiaal	+	+
	vochtgehalte/-spanning	+	+
Randvoorwaarden	potentiaal	+	+
	ondoorlatende rand	+	+
	flux over de rand	+	+
	puntonttrekking/-infiltratie	+	-
	vochtgehalte/-spanning	+	-
	potentiele verdamping	+	-
	neerslag	+	+
	zoet/zout oppervlak	-	-
Netwerkgeneratie		-	-
UITVOER			
Hydrologische waarden	potentiaal	+	+
	flux	+	-
	puntonttrekking/-infiltratie	+	-
	vochtgehalte/-spanning	+	+
	actuele verdamping	+	-
	cap. flux door phreatisch vlak	-	-
	afvoer naar drainagemiddelen	-	-
	stroomlijnen	-	-
	aequipotentiaallijnen	-	-
	verblijftijden	-	-
	waterbalans	+	-
	zoet/zout grensvlak	-	-
Wijze van uitvoer	print	+	+
	plot	-	-
Gevoeligheidsanalyse		+	-
Toetsing	analytische oplossing	-	+
	veldmeting	+	-
	schaalmodel	-	-
Rekenmethode	eindige differenties	-	+
	eindige elementen	+	-
Computer	IBM	+	-
	CDC/Cyber	+	-
	DEC	-	+
Taal	Fortran	+	+
Beschikbaarheid	voorwaardelijk	-	-
	onvoorwaardelijk	+	+
Handleiding	systeem	+	-
	gebruiker	+	-

Tabel 16. Modellen voor gekombineerde, niet-stationaire, 3-dimensionale stroming.

		DELAAT-V/D Akker/ SUM-2/WL/S349-3
INVOER		
Hydrologische constanten	doorlatendheid	+
	inhomogeniteit	+
	anisotropie	-
	dikte watervoerend pakket	+
	weerstand slecht doorlatende laag	+
	bergingscoefficient/eff. porositeit	-
	onverzadigde doorlatendheid	+
	vochtspanning	+
	intree/radiale weerstand	+
	drainage weerstand	+
	zoet/zout	-
	wortelzone	+
Beginvoorwaarden	potentiaal	+
	vochtgehalte/-spanning	-
Randvoorwaarden	potentiaal	+
	ondoorlatende rand	+
	flux over de rand	+
	puntonttrekking/-infiltratie	+
	vochtgehalte/-spanning	-
	potentiele verdamping	+
	neerslag	+
	zoet/zout grensvlak	-
Netwerkgeneratie		+
UITVOER		
Hydrologische waarden	potentiaal	+
	flux	+
	puntonttrekking/-infiltratie	+
	vochtgehalte/-spanning	+
	actuele verdamping	+
	cap. flux door phreatisch vlak	+
	afvoer naar drainage middelen	+
	stroomlijnen	-
	aequipotentiaallijnen	-
	verblijftijden	-
	waterbalans	+
	zoet/zout grensvlak	-
Wijze van uitvoer	print	+
	plot	+
Gevoeligheidsanalyse		-
Toetsing	analytische oplossing	-
	veldmeting	+
	schaalmodel	-
Rekenmethode	eindige differenties	-
	eindige elementen	+
Computer	IEM	+
Taal	Fortran	+
Beschikbaarheid	voorwaardelijk	+
	onvoorwaardelijk	-
Handleiding	systeem	-
	gebruiker	-

5. CONCLUSIES

1. Wat betreft de enquête naar de behoefte aan grondwater-modellen valt op, dat de behoeften zeer uiteenlopend zijn en weinig exact konden worden gedefinieerd.
Dit is een gevolg van het feit dat de potentiële gebruikers (grondwaterbeheerders) over het algemeen onbekend zijn met de mogelijkheden van grondwatermodellen. Dit wordt veroorzaakt door de geringe informatie-uitwisseling tussen modelbouwers en modelgebruikers.
Zo zijn de ad-hoc groep slechts enkele gevallen bekend waar een samenwerking tussen modelbouwers en modelgebruikers tot goede resultaten heeft geleid.

2. Geconcludeerd kan worden dat, in het algemeen gesproken, een redelijk aantal modellen voorhanden is. Ten aanzien hiervan laten zich de volgende conclusies formuleren:

2.1 Een groot aantal modellen lijkt op elkaar en heeft waarschijnlijk hetzelfde model als grondslag.

2.2 De modellen zijn in het algemeen slecht gedokumenteerd. Het gevolg daarvan is dat het voor de gebruikers vaak moeilijk en tijdrovend is om met deze modellen te werken.

2.3 De toetsing van de modellen aan veldgegevens heeft over het algemeen slechts summier plaatsgevonden, terwijl juist deze toetsing enige indruk kan geven omtrent de betrouwbaarheid van de modellen.

2.4 De gevoeligheid van de modeluitkomsten voor veranderingen in de modelparameters wordt in weinig gevallen onderzocht.

2.5 Het aantal werkelijk drie-dimensionale modellen is klein. De meeste van de in dit overzicht gegeven drie-dimensionale modellen zijn pseudo-drie-dimensionaal, dat wil zeggen dat zij betrekking hebben op een aantal watervoerende pakketten, waarin twee-dimensionale horizontale stroming optreedt en die gescheiden zijn door semi-permeabele lagen waarin alleen vertikale stroming optreedt.

2.6 Opvallend is de afwezigheid in Nederland van inverse modellen, dat wil zeggen modellen waarmee met behulp van gemeten grondwaterstanden en randvoorwaarden de bodemkonstanten kunnen worden berekend.

2.7 Het aantal modellen waarmee meer vloeistoffen-problemen (bijvoorbeeld zoet/zout) kunnen worden berekend is gering, terwijl veelal aan eenvoudige methodiek wordt toegepast.

2.8 Als de relatie tussen grond- en oppervlaktewater al in een model is ingebouwd, dan is dat in de meeste gevallen op een arbitraire wijze gebeurd, omdat in het algemeen onvoldoende afvoergegevens ter beschikking staan.

2.9 Hoewel in het algemeen de ondergrond niet isotroop is, is slechts in weinig modellen anisotropie ingebouwd.

2.10 In een aantal modellen is het wel mogelijk om als randvoorwaarde een ondoorlatende rand op te geven, maar niet een vaste flux over de rand.
Dit ondanks het feit dat beide gevallen mathematisch identiek zijn.

LITERATUUR

VAN DEN AKKER, C., 1975 -
Toelichting bij het rekenprogramma FLOP-1.
RID-Mededeling 75-3.

BERKHOFF, J.C.W.,
Drie-dimensionale grondwaterstroming (potentiaalstroming).
Intern rapport W 316, Waterloopkundig Laboratorium.

COMMISSIE BESTUDERING WATERHUISHOUDING GELDERLAND, 1976 -
Modelonderzoek 1971 - 1974 ten behoeve van de waterhuishouding in Gelderland.
Werkgroep rapport no. 1 (interim-rapport).

CRANK, J. en P. NICHOLSON, 1974 -
A practical method for numerical evaluation of solutions of partial differential equations of heat conduction type.
Proc. Comb. Phil. Soc. 43, pp.50-67.

DOUGLAS Jr., J. en B.F. JONES, 1963 -
On predictor-corrector methods for non-linear parabolic differential equations.
Journ. SIAM, 11, pp.195-204.

FEDDES, R.A., E. BRESLER en S.P. NEUMAN, 1974 -
Field tests of a modified numerical model for water uptake by root systems.
Water Res. Res. 10(6), pp.1199-1206.

FINLAYSEN, B.A., 1972 -
The method of weighted residuals and variational principles.
New.York,Academic Press.

FORSYTHE, G.E. en W.R. WASON, 1960 -
Finite difference methods for partial differential equations.
New York, John Wiley and Sons.

FREEZE, R.A., 1971 -
Three dimensional, transient, saturated-unsaturated flow in a ground water basin.
Water Res. Res. 7(2), pp.347-366.

HAITJEMA, H.M., 1977 -
Numerical applications of vortices to multiple fluid flow in porous media.
Delft Progress Report 2 (1977), pp.237-248.

HORNBERGER, G.M., I. REMSON en A.A. FUNGAROLI, 1969 -
Numerical studies of a composite soil-moisture ground water system.
Water Res. Res. 5(4), pp.797-802.

DE JOSSELIN DE JONG, G., 1977 -
Review of vortex theory for multiple fluid flow.
Delft Progress Report 2 (1977), pp.225-236.

KREYSZIG, E., 1972 -
Advanced engineering mathematics.
New York, John Wiley and Sons.

DE LAAT, P.J.M., C. VAN DEN AKKER en TH.J. VAN DE NES, 1975 -
Consequences of ground water extraction on evapotranspiration and saturated-unsaturated flow.
Proc. Bratislava symposium, IAHS-publ. no. 115, pp.67-76.

DE LAAT, P.J.M., 1976 -
A pseudo steady-state solution of water movement in the unsaturated zone of the soil.
Journ.Hydrol. 30, pp.19-27.

LOTHIN, M., 1958 -
The numerical integration of heat conduction equations.
Journ. Math.Phys. 37, pp.178-187.

NEUMAN, S.P., 1973 -
Saturated-unsaturated seepage by finite elements.
Proc. of Hydr. Div. 99 (HY12), pp.2233-2250.

NORRIE, D.H. en G. DE VRIES, 1973 -
The finite element method.
New York, Academic Press.

PEACEMAN, D.W. en H.H. RACHFORD, 1955 -
The numerical solution of parabolic and elliptic differential equations.
Journ. SIAM, 3, pp.28-41.

REMSON, I., G.M. HORNBERGER an F.J. MOLZ, 1971 -
Numerical methods in subsurface hydrology.
New York, Interscience.

RUBIN, J., 1968 -
Theoretical analysis of two dimensional transient flow of water in unsaturated and partly unsaturated soils.
Soil Sci. Soc. Amer.Proc. 32(5), pp.607-615.

SMITH, G.D., 1965 -
Numerical solutions of partial differential equations.
New York, Oxford Univ. Press.

TAYLOR, G.S. en J.N. LUTHIN, 1969 -
Computer methods transient analysis of water table aquifers.
Water Res.Res. 5(1), pp.144-152.

VAN DER VEER, P. 1976 -
Calculation method for two dimensional ground water flow.
Delft Progress Report 2 (1976), pp.35-49

VERMA, R.D. en W. BRUTSAERT, 1970 -
Unconfined aquifer seepage by capillary flow theory.
Journ. Hydr. Div. 96(HY6), pp.1331-1344.

ZIENKIEVICZ, O.C., 1971 -
The finite element method in engineering science.
London, Mc. Graw Hill.

GEENQUETEERDE INSTELLINGEN

BIJLAGE 1.

- Technische Hogeschool, Delft.
- Landbouwhogeschool, Wageningen.
- Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Laboratorium voor Grondmechanica, Delft.
- Waterloopkundig Laboratorium, Delft - De Voorst.
- Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Rijkswaterstaat.
- Provinciale Waterstaatsdiensten.
- Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Voorburg.
- Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland, Rijswijk.
- Technisch secretariaat Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven, Utrecht.
- Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen.
- International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, Delft.
- Ingenieursbureaus.
- Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen, Rijswijk.
- Unie van Waterschappen, Den Haag.
- Staatsbosbeheer, Utrecht.
- Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.
- Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.
- Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Gemeentelijke Technische Diensten.
- Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- Cultuurtechnische Dienst, Utrecht.

ENQUETE-VRAGEN BIJLAGE 2

Inventarisatie van behoefte aan grondwatermodellen

1. Waarvoor denkt u het model nodig te hebben?

2. Voor welke schaal moet het model geschikt zijn?

3. Wat is uw beleids-/beheersveld, resp. studie-/ onderzoeksveld?

4. Op welke termijn verwacht u antwoord?

5. Wat moet het model simuleren (benodigde output)?

6.1 Welke mate van gedetailleerdheid wordt verlangd ten aanzien van de uitvoergegevens van het model, gerekend naar plaats en tijd?

6.2 Welk budget is hiervoor beschikbaar?

7. Hebt u problemen met het verkrijgen van gegevens en zo ja, welke?

8.1 Welke modellen gebruikt u en wat zijn uw ervaringen hiermee?

8.2 Voor welk deel van uw problemen gebruikt u deze modellen? Waarom wordt er eventueel weinig gebruik gemaakt van modellen?

9.1 Werkt u in eigen beheer of besteedt u uit; wat zijn uw ervaringen?

9.2 Wat zal uw werkwijze zijn in de toekomst?

10. Waaruit bestaan uw eigen rekenfaciliteiten?

11. Welke vragen zoudt u verder nog beantwoord willen zien?

ENQUETE-VRAGEN BIJLAGE 3

Inventarisatie van beschikbare kwantitatieve grondwatermodellen

1. Welke digitale modellen zijn bij u in gebruik?
2. Wat simuleert het model?
3. Wat zijn de theoretische achtergronden (kort)?
4. Welke invoergegevens zijn noodzakelijk, welke bewerkingen vooraf zijn nodig en kan de computer daarbij eventueel worden ingeschakeld?
5. Wat rekent het model uit, wat is het toepassingsgebied en wat zijn de beperkingen?
6. Wat en hoe is de uitvoer van het model?
7. Welke detaillering naar plaats en tijd is door u gebruikt en wat is voor praktische toepassingen gewenst en/of noodzakelijk?
8. Is door u een gevoeligheidsanalyse toegepast en zo ja, voor welke invoergegevens en wat zijn de uitkomsten?
9. Is het model getoetst aan metingen en/of analytische oplossingen en wat is de betrouwbaarheid?
10. Voor welke computer is het model geschikt en in welke taal is het geschreven?
11. Hoe duur is het model in gebruik, gerelateerd aan de gedetailleerdheid naar plaats en tijd?
12. Is het model algemeen beschikbaar en zo ja, waar en onder welke kondities?
13. Door en voor wie wordt het model gebruikt?
14. Is er dokumentatie over het model beschikbaar, en zo ja, is deze dokumentatie gericht op de gebruiker of op het systeem?
    Is het model te gebruiken met behulp van alleen deze dokumentatie?
    Van wie is gedetailleerde informatie verkrijgbaar?
15. Welke analoge-modellen zijn bij u in gebruik en wat zijn de ervaringen daarmee?
16. Welke analytische oplossingen gebruikt u en wat zijn de ervaringen daarmee?
17. Welke kwaliteitsmodellen gebruikt u en wat zijn de ervaringen daarmee?
18. Heeft u suggesties omtrent andere te enquêteren instellingen of personen?

Verzadigde, stationaire, 2-dimensionale horizontale modellen

(zie tabel 5)

LM 1

Stroming in het horizontale vlak.

- A. Verruyt, afd. Civiele Techniek, TH, Delft.

LM 4

Als LM 1, maar met onttrekking door putten.

- A. Verruyt, afd. Civiele Techniek, TH, Delft.
- A. Bot, IWACO, Postbus 183, Rotterdam.

IWA 124

Looptijden en stroomlijnen berekening in freatisch spannings- of semi-spanningswater bij onttrekking uit één of meerdere putten.

- A. Bot, IWACO, Postbus 183, Rotterdam.

IWA 139

Simulatie van het potentiaalveld bij stroming in een watervoerende laag met volkomen spanningswater en met onttrekking en vaste voeding per element.

- Th. Olsthoorn KIWA NV, Sir Winston Churchill-laan 273, Rijswijk (ZH).

THEO

Berekening van stroomlijnen en verblijftijden van stroming in een watervoerende laag met volkomen spanningswater.

- C. van den Akker, GWL, Condensatorweg 54, Amsterdam-Sloterdijk.
- W. Fillekes, RID, Postbus 150, Leidschendam.

FLOP-1

Als FLOP-1, maar in een watervoerende laag met onvolkomen spanningswater.

- C. van den Akker, GWL, Condensatorweg 54, Amsterdam-Sloterdijk.
- W. Fillekes, RID, Postbus 150, Leidschendam.

FLOP-2

Stroming in een 1-laag dik pakket met neerslag, onttrekking en infiltratie.

- A. Bot, IWACO, Postbus 183, Rotterdam.

IWA 132

Berekening van kwel/wegzijging in een gebied.

- J.G. Wesseling, p/a ICW, Postbus 35, Wageningen.

ICW 1

ICW 3

Berekening van het potentiaalveld in een watervoerende laag met onttrekking/infiltratie en neerslag/verdamping.

- J.G. Wesseling, p/a ICW, Postbus 35, Wageningen.

Verzadigde, stationaire, 2-dimensionale vertikale modellen

(zie tabel 6)

IWA 153

Verandering van zoet-zout grensvlak en stijghoogte bij onttrekking van zout water in een 1, 2 of 3-lagen systeem.

- A. Bot, IWACO, Postbus 183, Rotterdam.

RWR 01
RWR 06

Stroming naar een drain/sloot in een 2-lagen systeem.

- R.W.R. Kooopmans/G.J.R. Soer, Afd. Agrohydrologie, LH, Wageningen.

WIDMOS

Transformatie van een radiale stroming naar een drain met filter in een eenvoudiger stroming voor bepaling van de invloed van perforatie en filter op de intree-weerstand van drainbuizen.

- G.J.A. Nieuwenhuis, ICW, Postbus 35, Wageningen.

ICW 2

Stroming door een rechte en schuine dam met een vrije grondwaterspiegel.

- J.G. Wesseling, p/a ICW, Postbus 35, Wageningen.

AGS 03

Stroming door een rechte dam met een vrije grondwaterspiegel.

- G.J.R. Soer, Afd. Agrohydrologie, LH, Wageningen.

RWR 03	Stroming naar een drain in een 2-lagen systeem.
RWR 05	Stroming door een homogene isotrope dam.
RWR 08	Stroming naar een drain op een helling.
RWR 10	Stroming naar een onvolkomen put.
RWR 12	Stroming naar een drain (ADI-methode).
RWR 13	Als RWR 03, maar naar een drainsleuf met afwijkende doorlatendheid.

- R.W.R. Koopmans / G.J.R. Soer, Afd. Agrohydrologie, LH, Wageningen.

WL/S 135 - 2	Berekening grondwaterstroming door dam met vertikale taluds en vrij oppervlak.

- A.P.M. Broks, Waterloopkundig Laboratorium "De Voorst", Postbus 152, Emmeloord.

AGS 01	Als AGS 03, maar niet-stationair.
AGS 02	

- G.J.R. Soer, Afd. Agrohydrologie, LH Wageningen.

Verzadigde, stationaire, 3-dimensionale modellen

(zie tabel 7)

STATRECT - 2	Berekening van stijghoogten en fluxen in een 1- of 2-lagen systeem met onttrekking.

- W. Fillekes, RID, Postbus 150, Leidschendam.

TRIST	Stroming in een 2-lagen systeem met onttrekking, infiltratie en kwel.

- A. Leijnse, RID, Postbus 150, Leidschendam.

IWA 135	Als IWA 132 (tabel 5), maar in een 2-lagen systeem.

- A. Bot, IWACO, Postbus 183, Rotterdam.

IWA 136	Als IWA 132 (tabel 5), maar in een 3-lagen systeem.

- A. Bot, IWACO, Postbus 183, Rotterdam.

v.d.Akker (ALMERE)	Stroming in een 2-lagen systeem met onttrekking.

- C. van den Akker, GWL, Condensatorweg 54, Amsterdam-Sloterdijk.
- E. Schultz, RIJP, Smedinghuis, Lelystad.

WL/W 316 - 1 Berekening van grondwaterstroming onder een afsluitingskonstruktie in open water.

- A.P.M. Broks, Waterloopkundig Laboratorium "De Voorst", Postbus 152, Emmeloord.

Verzadigde, niet-stationaire, 2-dimensionale horizontale modellen

(zie tabel 8)

MOTGRO Stroming van één of meerdere vloeistoffen in een gebied van willekeurige vorm en eigenschappen, met onttrekking.

- P. v.d. Veer, Rijkswaterstaat - DIV, Nijverheidsstraat 1, Rijswijk (ZH).

ILRI 1 Voorspelling van grondwaterstandsdiepten in relatie tot onttrekking en infiltratie.

- N.A. de Ridder / J. Boonstra, ILRI, Postbus 45, Wageningen.

FRONT Als FLOP-1 (tabel 5), maar met bergingsveranderingen.

- C. v.d. Akker, GWL, Condensatorweg 54,Amsterdam.
- W. Fillekes, RID, Postbus 150, Leidschendam.

HEIDMY - 1 Voorspelling van grondwaterstandsdiepten in relatie tot onttrekking en infiltratie, met parameters voor afvoer naar beken.

- D. Pette, Adviesbureau Arnhem BV, Postbus 264, Arnhem.

WL/S 135 - 1 Grondwaterstroming in een freatisch vlak.

- A.P.M. Broks, Waterloopkundig Laboratorium "De Voorst", Postbus 152, Emmeloord.

TYSON
- Als ILRI 1, maar met relatie oppervlaktewater.
- G.J.R. Soer, Afd. Agrohydrologie, LH, Wageningen.

Verzadigde, niet-stationaire, 2-dimensionale vertikale modellen.

(zie tabel 9)

MOTGRO — Zie onder MOTGRO 'horizontaal' (tabel 8)

IWA 154 — Als IWA 153, maar met bergingsveranderingen en onttrekkingsvariatie.

- A. Bot, IWACO, Postbus 183, Rotterdam.

LM 6
IWA 128 — Berekening van vrije grondwaterspiegel in een dam met rechte taluds.

- A. Verruyt, Afd. Civiele Techniek, TH Delft.
- A. Bot, IWACO, Postbus 183, Rotterdam.

MUFLO 3/4 — Berekening van grensvlakken tussen meerdere vloeistoffen.

- H.M. Haitjema, Afd. Civiele Techniek, TH Delft.

Verzadigde, niet-stationaire, 3-dimensionale modellen

(zie tabel 10)

SEEP — Niet-stationaire, 3-dimensionale stroming door een (semi) verzadigd,star, inhomogeen, anisotroop medium.

- F. Barends, Laboratorium voor Grondmechanica, Stieltjesweg 2, Delft.

TRANSRECT - 2 — Als STATRECT - 2 (tabel 7), maar met bergingsveranderingen.

- W. Fillekes, RID, Postbus 150, Leidschendam.

v. BAKEL — Berekening van potentiaal-verdeling bij stroming naar putten,met neerslag.

- P.J.T. van Bakel, ICW, Postbus 35, Wageningen,

Onverzadigde, stationaire, 1-dimensionale vertikale modellen

(zie tabel 11)

CAP.OPST. Berekening van capillaire opstijging uit het grondwater in gelaagde profielen.

- K. Rijniersce, RIJP, Smedinghuis, Lelystad.

WL/S 349 - 1 Berekening stationaire grondwaterstroming in de onverzadigde zone.

- A.P.M. Broks, Waterloopkundig Laboratorium "De Voorst", Postbus 152, Emmeloord.

Onverzadigde, niet-stationaire, 1-dimensionale vertikale modellen

(zie tabel 12)

HEIDONS Berekening van vochttekorten uit bodemkundige, hydrologische en meteorologische gegevens.

- H.J. Vinkers, Adviesbureau Arnhem BV, Postbus 264, Arnhem.

FLOW Stroming in een homogene grond met neerslag/ verdamping en afvoer via drainage.

- G.P. Wind, ICW, Postbus 35, Wageningen.

FEDDES Stroming in een homogene grond met wateronttrekking door wortels bij een konstante grondwaterstand, met neerslag en evapotranspiratie.

- R.A. Feddes, ICW, Postbus 35, Wageningen.

SOILWAT Stroming in een gelaagde grond met wateront-trekking door wortels bij variërende grondwater-stand, met neerslag en evapotranspiratie.

- R.A. Feddes, ICW, Postbus 35, Wageningen.

v. KEULEN Onttrekking aan een homogene grond door wortels zonder grondwaterstand ,met neerslag en evapo-transpiratie.

- H. van Keulen, Afd. Theoretische Teeltkunde, LH, Wageningen.

WL/S 349 - 2 Berekening niet-stationaire grondwaterstroming in de onverzadigde zone.

- A.P.M. Broks, Waterloopkundig Laboratorium "De Voorst", Postbus 152, Emmeloord.

Gekombineerde, stationaire, 2-dimensionale vertikale modellen.

(zie tabel 13)

BOELS — Infiltratie vanuit bekkens naar diep gelegen grondwater.

- D. Boels, ICW, Postbus 35, Wageningen.

Gekombineerde, niet-stationaire, 1-dimensionale vertikale modellen

(zie tabel 14)

MAKKINK - VAN HEEMST — Waterbalans van een verzadigd-onverzadigd medium, met neerslag, evapotranspiratie en drainage.

- H.D.J. van Heemst, CABO, Bornsesteeg 65, Wageningen.

Gekombineerde, niet-stationaire, 2-dimensionale modellen

(zie tabel 15)

UNSAT 2 — Stroming in een verzadigd-onverzadigd medium met wateronttrekking door wortels, neerslag, evapotranspiratie, onttrekking en infiltratie/drainage.

- R.A. Feddes, ICW, Postbus 35, Wageningen.

MM2 — Verzadigde-onverzadigde stroming in een kwel begrensd door sloten een neerslag.

- Y. Matsuura, p/a G.J.R. Soer, Afd. Agrohydrologie LH, Wageningen.

Gekombineerde, niet-stationaire, 3-dimensionale modellen

(zie tabel 16)

de LAAT - v.d. AKKER SUM 2 WL/S 349 - 3 — Stroming in een verzadigd-onverzadigd medium in relatie tot neerslag, evapotranspiratie, onttrekking en infiltratie/drainage.

- P.J.M. de Laat, IHE, Oude Delft 95, Delft.
- C.v.d. Akker, GWL, Condensatorweg 54, Amsterdam-Sloterdijk.
- H.A.J. van Lanen, RID, Postbus 150, Leidschendam.
- A.P.M. Broks, Waterloopkundig Laboratorium "De Voorst", Postbus 152, Emmeloord.

RAPPORTEN EN NOTA'S VAN DE COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK TNO.

1. Tweede Rapport en aanbevelingen
   van de Contactgroep Archivering en Automatische verwerking
   van hydrologische gegevens TNO,
   Januari 1977.

2. Verslag en aanbevelingen
   van de TNO Ad-hoc groep Grondwatermodellen en Computerprogrammatuur.
   Juli 1978.