

KRITISCHE KANTTEKENINGEN BIJ DE REGIONALE GEOHYDROLOGISCHE
SYSTEEMANALYSE

1. INLEIDING

Tegenwoordig wordt alom gesproken over integraal waterbeheer en worden termen als watersysteembenadering veelvuldig gebruikt. Dit is een uitdrukking van het feit dat men zich in toenemende mate realiseert dat alles met alles samenhangt. Zo kunnen bijvoorbeeld de problemen van achteruitgang van de kwaliteit van het grondwater niet los worden gezien van de traditionele kwantitatieve waterhuishouding. In dit verband moet ook de discussie omtrent holistische versus reductionistische benadering, die in het 'Wageningse' wordt gevoerd, worden gezien. Vanuit deze achtergrond is het niet verwonderlijk dat ook bij de regionale waterhuishouding behoefte bestaat aan een indeling in stroomsystemen. De voordelen van het hebben van zulk een indeling zijn nl. legio: het vormt een integratiekader tussen kwantitatieve en kwalitatieve hydrologie, het levert randvoorwaarden op voor modellering met behulp van numerieke regionale modellen en, doordat het inzicht-vergroten- is, kan het een betere basis vormen voor beleid en beheer op het gebied van de waterhuishouding. Het wekt dan ook geen verwondering

dat de laatste jaren de belangstelling voor methoden om voor het grondwater stroomsystemen te onderscheiden enorm is toegenomen, getuige ook de grote opkomst op de door de Hydrologische Kring georganiseerde themadag 'Regionale Geohydrologische Systemanalyse', gehouden op 10 september 1987.

Een van de meest bekende methoden is de geohydrologische systeemanalyse, gebaseerd op de systeemtheorie. Deze theorie, die is ontwikkeld door TÓTH (1963), wordt in Nederland vooral gepropageerd en toegepast door prof. Engelen van de VU-Amsterdam. Daarover zijn de nodige rapporten verschenen. Zie o.a. ENGELEN (1984), BROUWER en HOGENDOORN (1986), OUDE MUNNIK (1985) en ENGELEN and JONES (1986).

Aangezien de methode in de nabije toekomst -in aanvulling c.q. vervolg op de grondwaterkaart- wellicht op alle gebieden in Nederland door DGV-TNO zal worden toegepast en ook omdat diverse provincies overwegen een systeemanalyse te laten uitvoeren, is het goed om nader bij deze methode stil te staan. De auteur is nl. van mening dat hierbij een groot aantal kritische kanttekeningen zijn te plaatsen. Alvorens hiertoe over te gaan, is het nuttig in het kort de kenmerken van de regionale hydrologische systeemanalyse te behandelen.

2. BESCHRIJVING VAN DE REGIONALE GEOHYDROLOGISCHE SYSTEEMANALYSE

Het 'wezenskenmerk' van de systeemanalyse is, dat binnen een zeker gebied grondwaterstromingssystemen op en naast elkaar kunnen voorkomen en dat deze systemen onderscheiden kunnen worden naar orde. Een veelvuldig gebruikte ordening in Nederland is die van lokaal, subregionaal, regionaal en supraregionaal.

De grondlegger van deze methode is, zoals gezegd, Tóth. Uit TÓTH (1963) is fig. 1 ontleend, die in één oogopslag duidelijk maakt waar het hier om gaat.

Het grote verschil met de gebruikelijke kwantitatieve methoden is dus dat ook bij homogene watervoerende pakketten verschillen in stroomsnelheid en stroomrichting in verticale richting mogelijk zijn.

Zoals wellicht bekend wordt voor de berekening van de regionale grondwaterstroming -in de gebruikelijke aanpak- de stroming geschematiseerd tot horizontale stroming in watervoerende pakketten en verticale stroming in weerstandbiedende lagen. De eerste aanname is de bekende Dupuit-Forchheimer benadering. Met deze aanpak is het niet mogelijk om in een watervoerend pakket verticale verschillen in

stroomsnelheid en -richting te onderscheiden. Voor vraagstukken waarin het van belang is om te weten waar bepaalde stoffen blijven, die met het water worden meegevoerd, is zulks een grote tekortkoming. Het ter beschikking hebben van een indeling in stroomsystemen kan daarom, met name voor dit soort problemen, bijzonder nuttig zijn.

De hamvraag is echter: hoe kan men de verschillende stroomsystemen in kaart brengen. Met name op dit punt is veel werk verricht door Engelen en zijn medewerkers. In het kort komt het erop neer door combinatie van allerlei (bestaande) gegevens (meestal op kaart) over topografie, pedologie, geomorfologie, vegetatie, grondwatertrappen, oppervlaktewater, chemische samenstelling van het grondwater en de grondwaterkaart, een hydrologische systemenkaart wordt samengesteld. Deze procedure zal worden toegelicht aan de hand van de hydrologische systeemanalyse van kaartblad 40 Oost (ENGELEN, 1984). Deze analyse heeft nl. gediend als een proefkartering voor DGV-TNO.

Op basis van gegevens over patronen van nederzettingen, landgebruik en verkavelingspatronen, hoogteliggingen en grondwatertrappen worden voorlopige (de meest belangrijke) stromingssystemen geïdentificeerd.

Hoe dat precies in zijn werk gaat, wordt niet vermeld. Duidelijk is dat op dit punt zaken als intuïtie en ervaring een rol spelen.

In een volgende analyseronde wordt dit beeld verder verfijnd door gebruik te maken van meer gedetailleerde gegevens. Om te komen tot de systemenkaart worden met name de volgende 'spelregels' gehanteerd:

- de hogere delen vormen de infiltratiegebieden; de lagere delen de exfiltratiegebieden (of kwelgebieden);
- in gebieden zonder af- of ontwateringssystemen infiltreert het neerslagoverschot volkomen;
- podzolen liggen in infiltratiegebieden; veengronden in kwelgebieden (zie ook KEMMERS, 1986);
- Gt VI en VII indiceren permanente infiltratie,
Gt I, II en III indiceren stagnerend grondwater of exfiltratie en
Gt IV en V zitten daar tussenin.

Een aldus geproduceerde systemenkaart staat weergegeven in fig. 2 en een dwarsdoorsnede in fig. 3.

Door BROUWER en HOOGENDOORN (1986) is in principe dezelfde werkwijze toegepast op Salland, met als grote verschil dat zij a) lokale syste-

men een seizoensgebonden karakter meegeven en b) dat alleen Gt I en II als blijvende kwelgebieden zijn aangemerkt. Vooral in dit laatste rapport wordt de geproduceerde systemenkaart als hypothetisch aangemerkt en worden termen als "kwelt mogelijk" gebezigd. Aangezien door DGV-TNO Salland als proefgebied voor de geldigheid van de geohydrologische systeemanalyse geldt, wordt momenteel via veld- en modelonderzoek de juistheid van de systemenkaart nagegaan.

3. EVALUATIE VAN DE METHODIEK

Een kritische beschouwing van diverse rapporten betreffende de toepassing van de regionale geohydrologische systeemanalyse leidt tot vraagtekens en aanmerkingen op vele detailpunten en meer algemene kritiek.

3.1. Opmerkingen bij DGV-TNO-rapporten betreffende kaart 40 Oost en Salland

- a. Door combinatie van verschillende basiskaarten wordt een voorlopige systemenkaart, schaal 1 : 200 000, geproduceerd. Het is volstrekt onduidelijk hoe de daarop voorkomende systeembegrenzingsen tot stand zijn gekomen.
- b. Er wordt niet duidelijk gedefinieerd wat moet worden verstaan onder de supra-regionale, regionale en lokale systemen.

Uit de tekst blijkt dat bedoeld wordt op grondwatersystemen.

Echter er worden op de systemenkaart subsystemen onderscheiden, die door de hydroloog doorgaans worden aangegeven als stroom- of afvoergebieden.

- c. Volgens TÓTH (1963) is een regionaal subsysteem gedefinieerd als een systeem dat onder een lokaal systeem doortroomt. Beschouwen we fig. 3 kritisch, dan zien we dat tegen deze regel wordt gezondigd. Bijvoorbeeld het water dat aan de voet van Montferland opkwelt is een lokaal systeem en behoort niet tot het (supra-)regionale systeem van Montferland.
- d. In beide studies worden kleine kwelvensters getekend van systemen die hun intrekgebied tientallen km's verderweg hebben. Vooral hierbij is sprake van 'wishful thinking'. De kwelvensters zijn trouwens veel kleiner dan hun 'bijbehorend' intrekgebied, hetgeen zou moeten leiden tot zeer hoge kwelintensiteiten.
- e. In het rapport van kaart 40 Oost wordt op de kaarten niet vermeld dat de lokale systemen 's zomers wellicht ophouden te bestaan.
- j. Hoewel systeemanalyse pretendeert dynamisch te zijn, wordt juist niet of onvoldoende de grote verschillen in zomer en winter in beeld gebracht. Zo wordt bij de systemenkaart van Salland wel aangegeven dat de lokale systemen verdwijnen. Echter juist dan krijgt het regionale systeem een kans zich te ontwikkelen en dus ook water af te voeren naar gebieden die nu niet als kwelvensters op kaart staan.

g. Er wordt zwaar geleund op de grondwatertrappenkaart. Nergens wordt melding gemaakt van de 'natuurlijkheid' of 'actualiteit' ervan. Zeker voor analysedoeleinden is het bovendien beter om gebruik te maken van duurlijnen (KEMMERS, 1986).

3.2. Algemene kritiek

Het grootste punt van kritiek is, dat op basis van interpretatie en combinatie van voorhanden zijnde gegevens een niet door derden te reproduceren systemenkaart wordt vervaardigd. Bovendien wordt één van de belangrijkste gegevens, die daarvoor gebruikt kunnen worden, onbenut gelaten, namelijk het vaststellen van gekwantificeerde waarden van kwel en wegzijging op grond van stijghoogteverschillen tussen freatisch en diep grondwater of op basis van de tweede afgeleide van het potentiaalveld. Het koppelen van allerlei informatie is dus gebrekkig en te fragmentarisch, mede doordat éénduidige definities van systemen ontbreken. Dit maakt het geheel rommelig.

Een mogelijk nog fundamenteler bezwaar is, dat de geproduceerde kaarten een volstrekt vertekend beeld geven van de belangrijkheid van de

diverse subsystemen. Het beeld dat ontstaat legt, althans optisch gezien, een veel te zware nadruk op de regionale systemen, omdat ook geen enkele poging tot kwantificering wordt gedaan.

Het is juist TÓTH (1963) geweest, die heeft gewezen op het overgrote aandeel van lokale systemen in de afvoeren van kleinere stroomgebieden indien het lokale reliëf overheerst ten opzichte van de regionale trend in maaiveldshoogte. Bij zekere verhoudingen tussen deze twee grootheden krijgt de regionale stroming zelfs geen kans tot ontwikkeling te komen. Toepassing van zijn theorie op de situatie in Oost-Gelderland en Salland (met een lokaal reliëf als gevolg van dekzandruggen en beekdalen van enkele meters en een regionale trend van 1 op 2000) zou hebben geresulteerd in een stroombeeld zoals weergegeven in fig. 4. Tóth zelf heeft zijn theorie ook alleen maar toepasbaar geacht op 'small drainage basins' met een typische oppervlakte van circa 10 000 ha. Dat het lokale karakter sterk overheerst, wordt min of meer bevestigd door Hoogendoorn, die op grond van geohydrochemische gegevens in het jaarverslag 1983 van DGV-TNO schrijft: "Ook dit betekent dat verwacht mag worden dat het grootste gedeelte van het water dat in de stuwwallen is geïnfiltreerd niet verder komt dan de beken en omliggende sloten die

het gebied draineren" en "Een te regionaal beeld wordt gesuggereerd".

Ook uit waterbalansonderzoekingen in o.a., De Peel (WIT, 1986) komt naar voren dat veelal ruim 90% van de nuttige neerslag van een stroomgebied via in het gebied aanwezige watergangen wordt afgevoerd.

Een, mijns inziens, sterke ondersteuning van de kritiek, dat door de methodiek een te regionaal beeld wordt gesuggereerd, wordt geleverd door de resultaten van het onderzoek in Zuidwest Drenthe. Door OUDE MUNNIK (1983) werd op grond van de methodiek o.a. een kwelvenster van water afkomstig van het Drentse Plateau gekarteerd (zie fig. 5). Echter door GIESKE werd op de reeds eerder gememoreerde studiedag een door het driedimensionale model FLOSA (ZIJL, 1986) berekend beeld van stroombanen van hetzelfde gebied getoond waarin ter plaatste van het kwelvenster geen water van het Drentse Plateau opkwelde. Ook volgde uit het beeld een sterk overheersing van stroming van direct aan elkaar grenzende hoge en lage gebieden i.c. (de lokale subsystemen).

Bij analyse van de methodiek komt ook sterk de indruk naar voren van het omdraaien van het causaliteitsbeginsel. Men kan bijv. niet stroombanen bij Gt's denken. Wel kan een bepaalde Gt het gevolg zijn van kwel of wegzijging. Ook zijn vele beweringen louter trivialiteiten,

zoals dat gebieden zonder zichtbaar drainagestelsel intrekgebieden zijn. Anders gezegd: een bepaalde Gt is geen bewijs, maar een bevestiging van een verondersteld stromingspatroon.

Van groot belang voor de waterbeweging in een gebied is het karakter van het drainagestelsel. Een analyse hiervan, zoals bijvoorbeeld door DE VRIES (1974) is uitgevoerd, levert veel meer inzicht in het hydrologische gebeuren van een gebied. Zeker als het gaat om natuurwaarden zijn de verhoudingen tussen de verschillende ordes van het afvoerstelsel en de intensiteit van de kwel van eminent belang, zoals ook door WIND (1986) is aangegeven. Het belang van het drainagestelsel wordt mijns inziens door de methodiek van geohydrologische systeemanalyse schromelijk onderschat.

In het ideale geval zou een systeemanalyse een beeld moeten opleveren van kwel- en wegzijgingsgebieden en de onderlinge verbindingen. Bij de geproduceerde kaarten echter worden kwel- en wegzijgingsgebieden van een lokaal systeem niet onderscheiden. Daarmee vervalt echter één van de potentieel belangrijkste toepassingsmogelijkheden.

Door diverse auteurs wordt ook gesteld dat een regionale geohydrologische systeemanalyse vooraf zou moeten gaan aan een modellering van een zeker gebied. Gestel dat de uitgevoerde systeemanalyse het 'ideaalresultaat' heeft opgeleverd, zoals hierboven beschreven, dan nog is dit alleen van nut indien het probleem puur kwalitatief van aard is. Immers door kwantitatieve ingrepen verandert het grondwaterstromingspatroon, hetgeen bijvoorbeeld de systeemgrenzen doet verschuiven.

In diverse onderzoeken is, of wordt getracht, de resultaten van de systeemanalyse te verifiëren c.q. te ondersteunen. Men kan dit doen door modelberekeningen waarbij stroombanen worden berekend (GIESKE, studiedag) of door het uitvoeren van zeer uitgebreid geohydrochemisch onderzoek (STUURMAN, studiedag). Beide genoemde onderzoeken hebben mijns inziens aangetoond dat bij de systeemanalyse heel gemakkelijk misconcepties kunnen optreden. De geo-hydrochemische verificatie heeft bovendien als groot nadeel dat niet of moeilijk is na te gaan of men huidige of fossiele subsystemen karteert. Dit vanwege de soms zeer lange verblijftijden.

Bovenstaande passage moet niet het misverstand wekken dat genoemde methoden niet bruikbaar zijn in de analyse van het grondwatersysteem. In tegendeel, zij zijn juist bij uitstek geschikt, maar dan vooral als middel om subsystemen te onderscheiden en niet om subsystemen die volgens de geohydrologische systeemanalyse in beeld worden gebracht, te verifiëren. In dit verband moet ook worden vermeld dat het onbegrijpelijk is, dat bij deze systeemanalyse zo weinig met kwantitatieve waarden wordt gewerkt. Juist de theorie van Tóth biedt de mogelijkheid met globale cijfers omtrent reliëf en verhang een goede indruk te krijgen omtrent onderlinge verhoudingen van diverse subsystemen (zie bijv. fig. 4).

Een nadere uitwerking van het Tóth-concept zou tot de volgende aanvullingen op een geohydrologische beschrijving van een zeker gebied kunnen leiden:

- a. Vooral op lokale schaal is het mogelijk dat de grondwaterstroming naar het detailontwateringssysteem 'genest' is in de stroming naar de grotere watergangen, omdat de opbolling van de kleinere sloten in de winter relatief groot is ten opzichte van de opbolling van de grote watergangen. Denk hierbij ook aan de theorie van Hooghoudt,

die leidde tot de stelregel dat het pakket dieper dan $\frac{1}{4}L$ er weinig meer toe doet, of zijn befaamde begrip 'equivalentlaag'.

- b. De regionale trend in maaiveldsligging zorgt voor een afwijking van de stroomrichting die louter en alleen volgt uit lokale stijghoogteverschillen. Bijvoorbeeld het Drents Plateau heeft een radiaal bekenpatroon. Zonder de regionale trend zou de stroming naar de beken alleen transversaal zijn (zie fig. 6a).

Echter de regionale trend zorgt voor een beeld zoals in fig. 6b, met een longitudinale component. Hoe dichterbij de waterscheiding, hoe dieper het deeltje wegzakt en hoe kleiner de hoek met de longitudinale as. Via een glijdende schaal vindt dit plaats, zodat deeltjes die in het infiltratiegebied niet via het detailontwateringssysteem worden afgevoerd, in opgerechte vorm een eind benedenstrooms door de beek worden gedraineerd. En theoretisch gezien zijn er deeltjes die hieraan weten te ontsnappen en helemaal naar de rand doorstromen. Overigens zullen verschillen in doorlatendheid dit beeld drastisch verstoren, waardoor abruptere overgangen ontstaan met dito overgangen in chemische eigenschappen.

Bovenstaande beschouwing is overigens niet nieuw. Zo onderscheidde ERNST bijvoorbeeld reeds in 1958 bij de analyse van de grondwaterstroming in het Lollebeekgebied deze twee afvoercomponenten. In hetzelfde artikel wordt ook getracht kwantitatief af te schatten welk deel van de regionale stroming richting Maas onder een min of meer parallel verlopende beek doorstroomt. Mijns inziens systeemanalyse 'avant la lettre'.

4. CONCLUSIE

In tijden dat de systeembenadering alom opgang maakt is de systematisering van het grondwatersysteem een goede zaak. Ik heb echter gemeend kritische kanttekeningen te moeten plaatsen bij de analysemethode zoals die wordt voorgestaan door met name G.B. Engelen. Door toepassing van zijn methodiek op complexe situaties is er een neiging tot een te globale behandeling. Bovendien heeft, door onduidelijke definities, onnavolgbare analyseprocedures e.d., het geheel een intuïtief, danwel speculatief karakter.

Daarnaast is erop gewezen dat de methodiek ook feitelijke onjuistheden bevat, zoals de onderschatting van het belang van lokale subsystemen en, daarmee annex, het onderschatten van het belang van de eigenschappen van het drainagestelsel.

Door Slicher van Bath is ooit gesteld: **"Het is beter de kans van een misduiding te lopen dan geen oplossing van de problemen te wagen"**.

Echter indien die kans (onnodig) groot is, kan men beter enige bescheidenheid betrachten of op zoek gaan naar andere wegen, die, naar ik mag hopen te hebben aangetoond, voldoende voorhanden zijn.

LITERATUUR

- BROUWER, G.K. en J.H. HOOGENDOORN, 1986. Hydrologische systeemkartering Salland/O-Veluwe. DGV-TNO Rapportnr.: OS 86-36: 68 pp.
- ENGELEN, G.B., 1981. A systems approach to groundwater quality. In: Proc. Int. Symp. on Groundwater Q., Noordwijk. Studies in Env. Science 17, Quality of Groundwater: 1-25. Elsevier, Amsterdam.
- ENGELEN, G.B. and G.P. JONES, 1987. Developments in the analysis of groundwater flow systems. A contribution in the analysis of Groundwater Flow systems.
- ERNST, L.F., 1978. Drainage of undulating sandy soils with high groundwater tables. I. A drainage formula based on a constant hydraulic head ratio. II. The variable hydraulic head ratio. T.B.-ICW 106: 50 pp.
- ERNST, L.F., 1958. Onderzoek naar grondwaterstromingen in het Lollebeekgebied. ICW-mededeling no.4: 24 pp.
- HOOGENDOORN, J.H., 1984. Ruimtelijke variatie van enkele belangrijke chemische componenten in het grondwater en de implicaties daarvan voor de grondwaterstroming. Jaarverslag 1983. DGV-TNO, Delft: 60-77.

- KEMMERS, R.H., 1986. Perspectives in modeling of processes in the root zone of spontaneous vegetation at wet and damp sites in relation to regional water management. In: Water Management in relation to nature, forestry and landscape management. Versl. en Mededeling no. 34: 91-116.
- OUDE MUNNIK, J.M.E., 1985. Geohydrochemisch onderzoek Zuidwest-Drenthe. Een toepassing van de regionale hydrologische systeemanalyse. VU Amsterdam. 80 pp.
- TÓTH, J., 1963. A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. J. of Geoph. Res. f8(16): 4795-4812.
- VRIES, J.J. DE, 1974. Groundwater flow systems and streamnets in the Netherlands. Proefschrift VU Amsterdam.
- WIND, G.P., 1986. Slooppeilverlaging en grondwaterstands daling in veenweidegebieden. Cult. Techn. Tijdschrift 25(5): 321-330.
- WIT, K.E., 1986. Hydrologisch onderzoek in het zuidelijk Peelgebied. ICW Nota 1691: 44 pp.
- ZIJL, W., 1986. Numerical simulations based on streamfunctions and velocities in three-dimensional groundwater flow. J. of Hydr. 85(): 349-365.

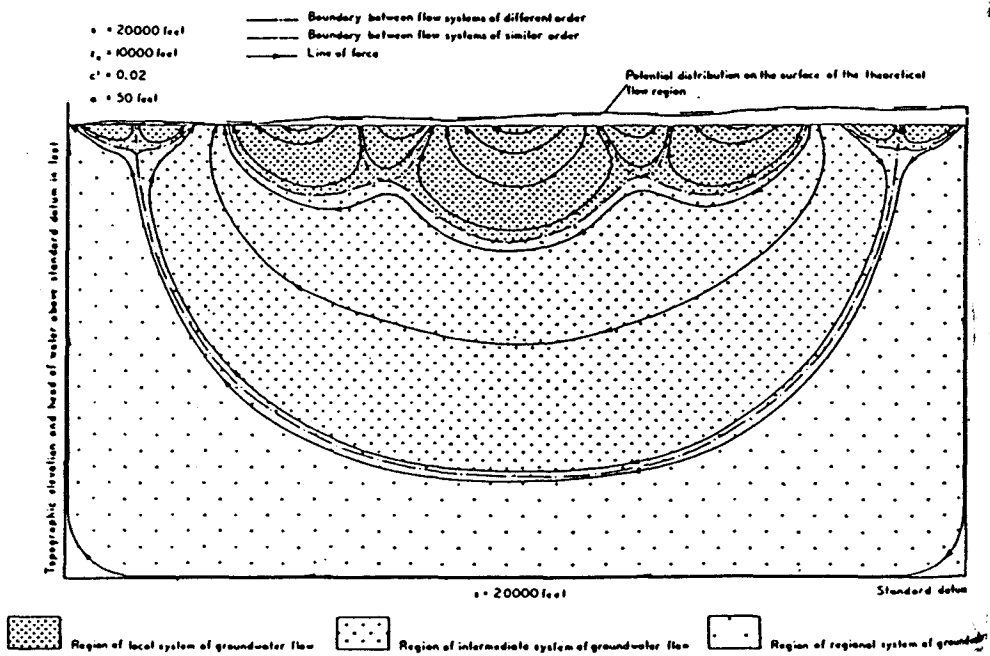
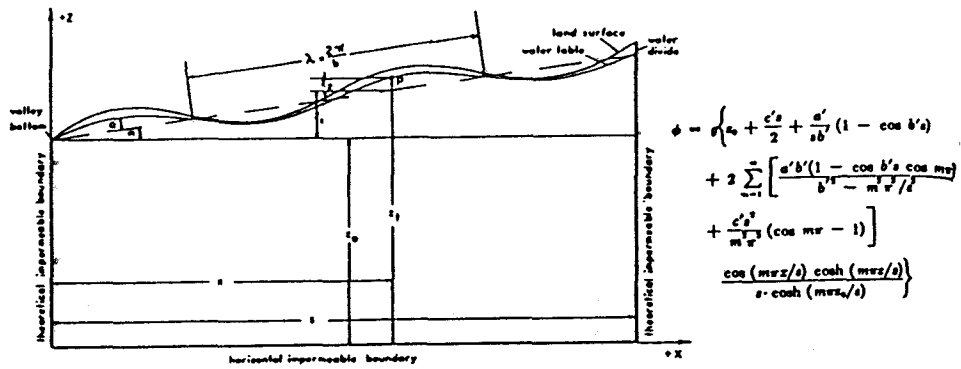


Fig. 1. Schematische weergave van de systeemtheorie en de bijbehorende vergelijkingen

(Uit: TÓTH, 1963)



- Bewegelijke regionale- en subregionale systeemscheiding
movable regional- and subregional-systems-divide
- ○ ○ ○ Vaste systeemscheiding
fixed systems-divide
- Bewegelijke locale systeemscheiding
movable local-system-divide
- ☀ Kwaliteits- van het onderliggende systeem
infiltration-window of underlying system

- ☀ (Symbol) Gebied met een afpompsysteem
area with sewer-system
- ☀ (Symbol) Gebied met een afpompsysteem benaderd door middel van de grootte van de grondwateronttrekking
area with a case of depression approximated by the size of the volume of the groundwater-extraction
- ☀ (Symbol) (Sub)regionaal rioleringsstelsel met afvalwater-zuiveringsinstallatie
subregional sewerage system and waste-water-treatment-plant

- (Natuurlijke componenten van het hydrologische systeem)**
(Natural components of the hydrological system)
- ☐ Voedings-infiltratie-gebied van een systeem
recharge-infiltration-area of system
 - ☐ Voedings-infiltratie- of afwisselend voedings-/afwisselend infiltratie-gebied van een systeem
recharge-infiltration- or alternating recharge/discharge-infiltration-area of system
 - ☐ Kwaliteits- van een systeem
discharge-infiltration-area of system

DIENST GRONDWATERVERKENNING TNO

KAART MET HYDROLOGISCHE SYSTEMEN
Hydrological systems map

RAPPORT NR	SCHAAL	KAARTBLAD	BULAGE
OS 84-20	1 : 50 000	40 Oost	14a

Fig. 2. Voorbeeld van een systemenkaart, nl. kaartblad 40 Oost Arnhem

(Uit: ENGELEN, 1984)

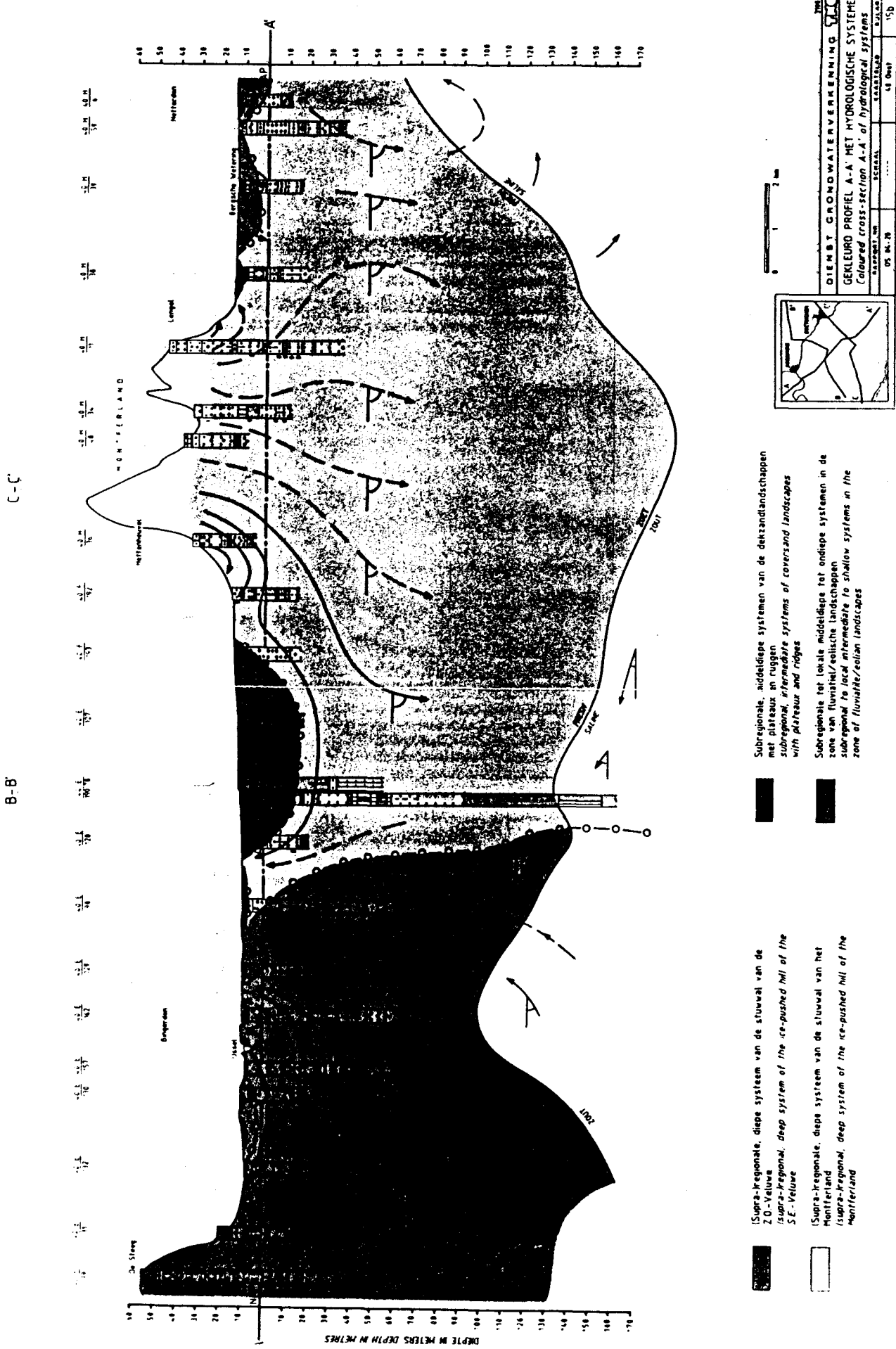


Fig. 3. Voorbeeld van een dwarsdoorsnede van de in fig. 2 gegeven systemenkaart
 (Uit: ENGELEN, 1984)

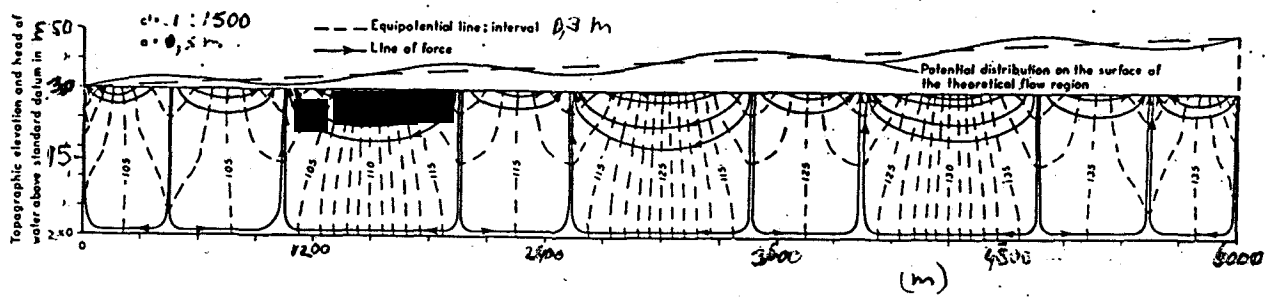


Fig. 4. Het volgens de systeemtheorie van TÓTH globaal berekende
 stromingspatroon ^{nen die} wat representatief ^{zijn} is voor de situatie in
 Oost-Gelderland en Salland

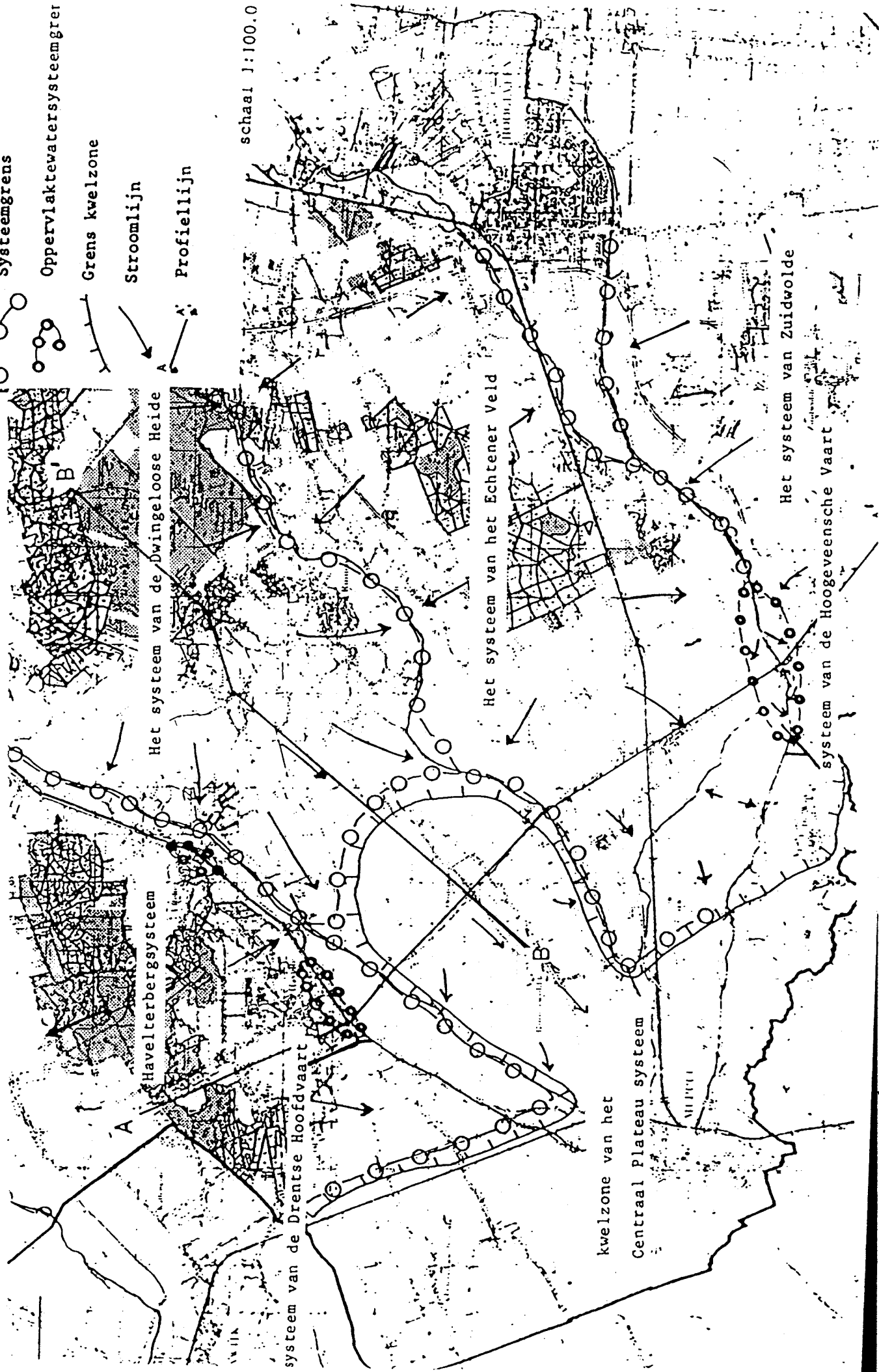
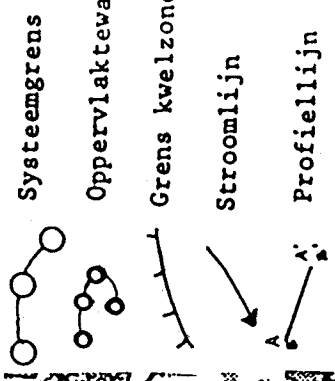
(Uit: TÓTH, 1963)

Fig. 5. Systemenkaart van Zuidwest Drenthe

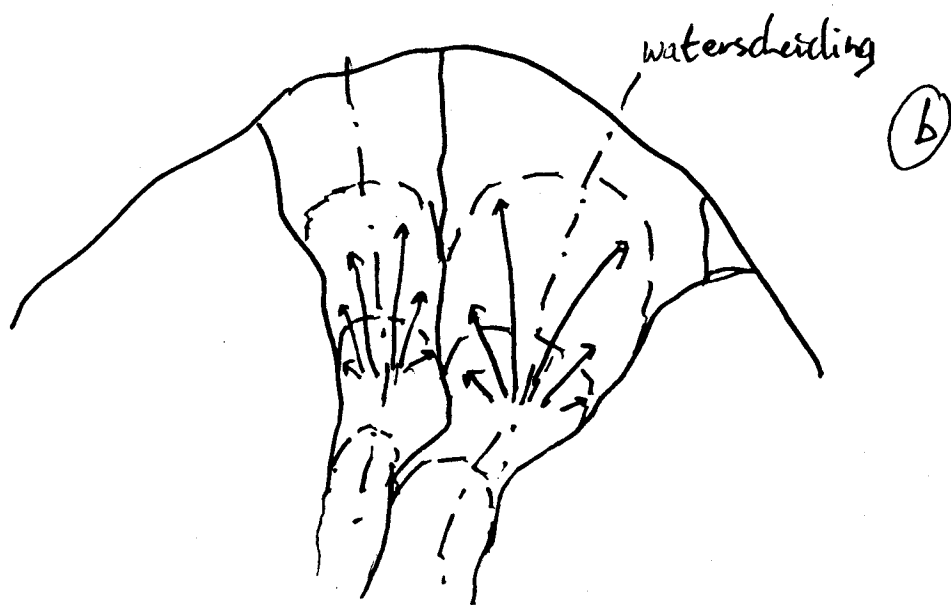
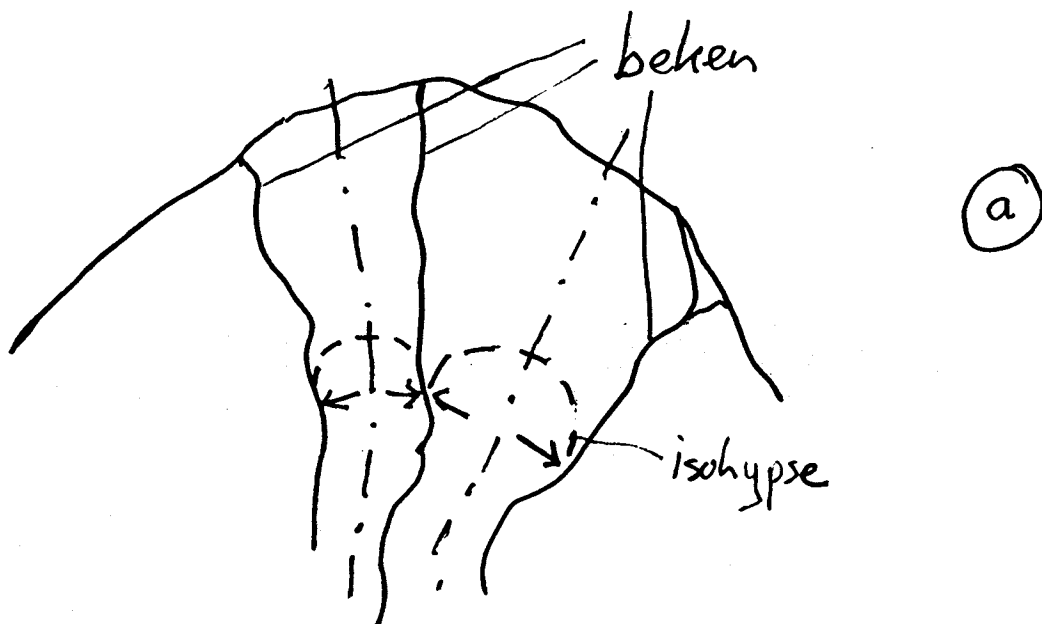
(Uit: OUDE MUNNIK, 1985)

KAARTBLAD :

SYSTEMENKAART



schaal 1:100.0



→ richting waarin grondwater stroomt
afkomstig van inzigtig gebied aan weerszijden
waterscheiding

Fig. 6. Schematische weergaven van de transversale component (6a) en de combinatie van transversale en longitudinale component van de grondwaterstroming in een beekdalsysteem (6b)