

# Grondwater en grondwaterwinning

## Inleiding

Het verzoek dat schrijver dezes van de Commissie van Voorbereiding van de Vakantiecursus heeft gekregen, hield o.m. in, dat in deze inleidende les duidelijk gemaakt moest worden waarom in Nederland het schaarse grondwater van zo bijzonder groot belang is als grondstof voor de drink- en industriewatervoorziening, in welke mate grondwaterwinning een ingreep in het hydrologisch gebeuren is, en welke de consequenties van die ingreep voor dat gebeuren zijn.



IR. G. SANTING  
IWACO BV  
Rotterdam

Om aan het gedane verzoek te kunnen voldoen en de gevraagde toelichtingen te kunnen geven, zal o.m. gebruik moeten worden gemaakt van verschillende in de hydrologie gebruikte begrippen. Daar vele van die begrippen ook in volgende lessen ter sprake zullen komen, is van de meest voorkomende een overzicht samengesteld, dat afzonderlijk aan deze les is toegevoegd (blz. 263).

Het belangrijkste deel van de les wordt besteed aan de toelichting van de gevolgen die grondwaterwinning voor het hydrologisch regiem kan hebben. De toelichting dient als kader of achtergrond voor een aantal van de volgende lessen en bevat zelf geen details over nieuwe technische of wetenschappelijke ontwikkelingen. Voorts worden kort een aantal moeilijkheden genoemd die bij de berekening van de te verwachten gevolgen van een grondwateronttrekking, of bij de meting van de gevolgen tijdens de onttekening, zich kunnen voordoen.

## Gebruik en belang van grondwater

De vele artikelen en verhandelingen die de laatste jaren in dag-, week- en vakbladen zijn verschenen en die de relatie tussen grondwater en natuur en landschap tot onderwerp hebben, zullen een ieder zo langzamerhand wel het inzicht hebben gegeven hoezeer grondwater niet alleen van belang is als grondstof voor de watervoorziening van bevolking en industrie en voor het behoud van een goede vochtvoorziening van de landbouwgewassen, maar tevens een factor is die in veel gevallen bepalend is voor het karakter van het landschap en van natuurgebieden. De relatie tussen grondwater en landbouw

TABEL I - Factoren, van belang bij afweging van voor- en nadelen van verschillende bronnen van water voor de drink- en industriewatervoorziening (voor Nederlandse omstandigheden).

	zoet grondwater	zoet oppervlaktewater	brak of zout grondwater	brak of zout oppervlaktewater in Delta- of kustgebied
Chem.-fysische samenstelling	constant en veelal goed	variabel en veelal slecht	constant	variabel en veelal slecht
Temperatuur	constant	variabel	constant	variabel
Bedreiging door verontreiniging (calamiteiten)	gering	groot	gering	groot
Gevolgen van winning voor landbouw, natuur en landschap	variabel	variabel	variabel	gering
Kosten <sup>1</sup> van winning, zuivering en opslag	10 - 25 ct/m <sup>3</sup>	40 - 125 ct/m <sup>3</sup>	160 - 300 ct/m <sup>3</sup>	160 - 300 ct/m <sup>3</sup>
Kosten van hoofdtransport	veelal gering	veelal hoog <sup>3</sup>	veelal gering	veelal gering

1 De produktiekosten zijn afhankelijk van de grootte van de watervoorzieningsprojecten alsmede van de kwaliteit van de ruwe grondstof. De cijfers zijn gebaseerd op prijspeil 1975. De kosten van eventuele schadevergoedingen aan benadeelden zijn er niet in verdisconteerd.

2 Door de bij geringe afvoer optredende sterke verontreiniging van vele open wateren dienen deze ongunstige perioden overbrugd te worden, waartoe grote spaarbekkens nodig zijn. Opgemerkt zij nog dat bijv. bij duininfiltratie ondergrondse opslag mogelijk is.

3 Grondwaterwinplaatsen liggen veelal op korte afstand van de distributiegebieden; bij winplaatsen van zoet oppervlaktewater is dat thans zelden het geval meer.

en tussen grondwater en natuur en landschap zullen in volgende lessen aan de orde komen. Hier beperken wij ons tot het belang van het zoete grondwater als grondstof voor de drink- en industriewatervoorziening. De belangrijkheid van deze grondstof vloeit, het zij hier ten overvloede nog weer eens gesteld, voort uit zijn grote voordelen in vergelijking met andere bronnen voor de watervoorziening van bevolking en industrie, i.c. zoet oppervlaktewater en ontzilt brak oppervlakte- of grondwater.

De tabel I geeft hiervan een duidelijk beeld, waarbij dient te worden opgemerkt, dat hierbij speciaal aan Nederlandse omstandigheden moet worden gedacht.

Het zeer grote voordeel van zoet grondwater t.o.v. zoet oppervlaktewater als grondstof voor de openbare watervoorziening ligt in zijn veiligheid voor wat betreft de bedreiging door verontreiniging. In het dicht bevolkte en sterk geïndustrialiseerde West-Europa zijn, indien van het vervuilde oppervlaktewater gebruik wordt gemaakt als bron voor de openbare watervoorziening, de meest geavanceerde (en dure) zuiveringsmethoden en kostbare transport- en opslagwerken nodig. Maar dan blijft nog de dreiging bestaan van een calamiteit op de rivier of in de opslagbekkens, waardoor deze voor kortere of langere tijd onbruikbaar zijn. In oorlogstijd of bij sabotage kan met geringe middelen een watervoorziening die van oppervlaktewater gebruik maakt, uitgeschakeld worden. Het terugschroeven van de grondwaterwinning en het geleidelijk meer overgaan op het gebruik van oppervlaktewater voor de openbare voorziening zou dan ook een

politiek onverantwoorde zaak zijn. Integendeel zal alle inspanning gericht moeten zijn op het behoud en de bescherming van het grondwater als veilige bron voor de openbare watervoorziening.

Ondanks zijn veilige situatie dient toch ook het grondwater beschermd te worden tegen verontreiniging. Die verontreiniging kan velerlei zijn: verontreiniging van het bodemoppervlak door vuilstorten, begraafplaatsen, industrievestigingen, stadsuitbreidingen, recreatierreinen, benzine- en andere opslagplaatsen, transport van gevaarlijke stoffen, gebruik van zout voor ijs- en sneeuwbestrijding op wegen, pijpleidingstraten, gebruik van herbi- en insecticiden in de land- en tuinbouw, enz. enz.; en ook ondergronds wordt het grondwater bedreigd door bijv. vuilstorten in diepe meren die voor zandwinning zijn gebruikt, of door berging en lozing van afvalstoffen in de ondergrond.

De bedreiging van het grondwater door deze verontreinigingen is echter niet acuut.

Als gevolg van de geringe stroomsnelheid van het grondwater verplaatst een verontreiniging zich uiterst langzaam, zodat praktisch altijd voldoende tijd beschikbaar is om de verontreiniging te ontdekken, te volgen en maatregelen te nemen om de bedreiging van de grondwaterwinplaats af te wenden.

Het is wellicht nuttig hier nog eens de aandacht te vestigen op het feit dat op de meeste grondwaterwinplaatsen nog water gewonnen wordt waar van al die hierboven genoemde verontreinigingen niets gemerkt wordt. De verklaring hiervan is, dat het gewonnen water veelal een leeftijd van

ettelijke decennia, soms wel van enige eeuwen of zelfs millennia heeft. Het is afkomstig van regenwater in tijden dat er van bodemverontreiniging in Nederland nog geen of nauwelijks sprake was. Men moet aannemen dat het huidige bodemgebruik in Nederland in de toekomst leiden zal tot achteruitgang in de kwaliteit van het grondwater; het is daarom van het grootste belang dat bestudeerd wordt hoe het gedrag van verontreinigende stoffen in de grond en het grondwater is en welke maatregelen men kan nemen om de bodemverontreiniging binnen de perken te houden. Niet vergeten mag worden dat verontreinigd grondwater op zijn beurt weer leidt tot het ontstaan van verontreinigd oppervlaktewater.

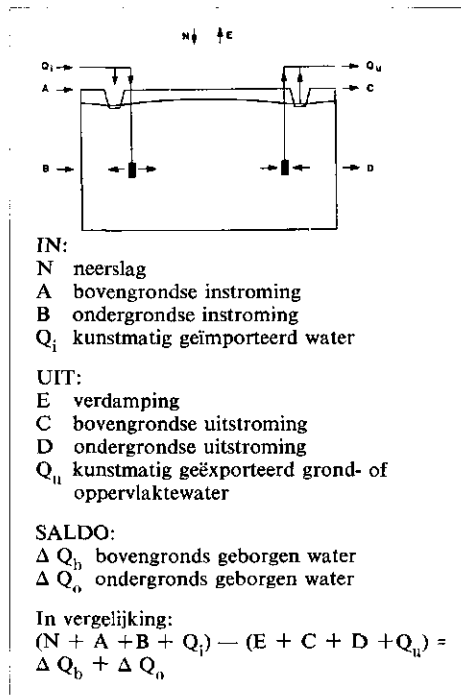
In de tabel is ook nog aangeduid in welke mate de winning van het water gevolgen kan hebben voor de natuur, het landschap en de vegetatie in het algemeen. Bij grondwaterwinning moet dan in de eerste plaats gedacht worden aan de gevolgen van de daling van de grondwaterstand; in de volgende paragraaf wordt aan dit aspect aandacht besteed. Bij de winning van oppervlaktewater moet men vooral denken aan het ruimtebeslag en de ingreep in het landschap door de aanleg van grote spaarbekkens en lange transportleidingen. Op de overige in de tabel genoemde aspecten behoeft niet verder te worden ingegaan; zij spreken voor zichzelf.

**Invloed van grondwateronttrekking op het grondwaterregiem**

Grondwateronttrekking is een ingreep in het grondwaterregiem, d.w.z. in het spel van aanvulling en afstroming van het grondwater onder invloed van droge en natte perioden.

Onttrekking zal het stromingspatroon van het grondwater veranderen en de aanvulling en afstroming zowel in grootte als in plaats beïnvloeden. Het is daarbij in principe onverschillig of het gaat om een grondwateronttrekking door middel van meer of minder diepe putten of draineerkanalen, ofwel dat het gaat om cultuurtechnische maatregelen zoals versterkte ontwatering van landbouwgronden.

De invloed van grondwateronttrekking op het grondwaterregiem kan in het kader van deze vakantiecursus het best worden toegelicht aan de hand van enige geschematiseerde voorbeelden van in Nederland veel voorkomende geohydrologische omstandigheden. Om de toelichting te kunnen geven, dient een bekend oud paard van stal te worden gehaald, nl. het begrip waterbalans. Voor zover nodig zij er aan herinnerd dat de waterbalans van een gebied en voor een bepaald tijdvak bestaat uit een aantal posten



Afb. 1 - Posten van de waterbalans.

betrekking hebbend op inkomend water, een aantal posten voor het uitgaande water, en een saldo (zie afb. 1).

Het bovengronds geborgen water vindt men in beken, sloten en andere wateren, alsook in plassen op het terrein; ondergronds kan water worden geborgen door stijging van de grondwaterstand, door vermeerdering van het vochtgehalte van de onverzadigde zone alsmede door elastische uitzetting van een grondlaag met spannings- of semi-spanningswater.

Tussen inkomend en uitgaand water bestaat, over langere perioden en onder natuurlijke omstandigheden gezien, even-

wicht; er is geen saldo. Ware dit niet het geval, dan zou de voorraad op de lange duur steeds aangroeien of verminderen. Alleen als gevolg van klimaatsveranderingen of vegetatieveranderingen waarbij de posten N en E zich wijzigen, doet zich zoiets voor, totdat zich een nieuw evenwicht heeft ingesteld.

Door menselijk ingrijpen kan de balans worden verstoord. Een ingreep op een der posten van de balans of de invoering van een nieuwe post zal noodzakelijkerwijs tot gevolg hebben dat een of meer andere posten zich wijzigen, en wel zodanig dat een nieuw evenwicht zich probeert te vormen. Hoe dit uitpakt in het geval van grondwateronttrekking en wat dan de gevolgen voor het grondwaterregiem zijn, zal worden toegelicht aan de hand van vier geschematiseerde geohydrologische situaties, nl.:

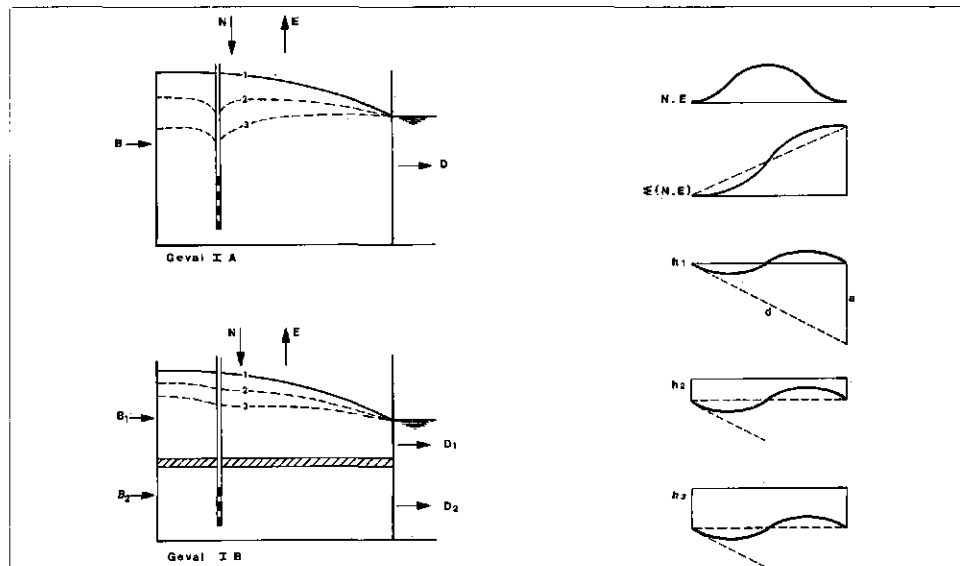
- IA een hoog gebied zonder bovengrondse afvoer, en met freatisch water;
- IB een hoog gebied zonder bovengrondse afvoer, en met semi-spanningswater;
- IIA een hoog gebied met vrije bovengrondse afwatering, en met freatisch water;
- IIB een hoog gebied met vrije bovengrondse afwatering, en met semi-spanningswater.

Afb. 2 geeft de situaties van de gevallen IA en IB weer. Men treft die o.a. aan in de Veluwe, het Gooi, de duinen en op kleinere schaal in tal van hoge gebieden zonder bovengrondse afwatering. De gemiddelde jaarlijkse waterbalans is er eenvoudig:

voor geval I A  
 $(N + B) - (E + D + Q_u) = 0$ ;  
 voor geval I B, waar een minder doorlatende laag aanwezig is  
 $(N + B_1 + B_2) - (E + D_1 + D_2 + Q_u) = 0$

Invoeren of vergroten van de term  $Q_u$ , de

Afb. 2 - Grondwateronttrekking in een gebied van hoge gronden zonder bovengrondse afwatering.



grondwaterwinning, heeft tot gevolg dat  $B - D$  of  $B_1 + B_2 - D_1 - D_2$  groter wordt: het winnen van grondwater wekt een grotere toestroming  $B$  op, of gaat ten koste van de ondergrondse afvoer  $D$ , of beide zijn het geval.

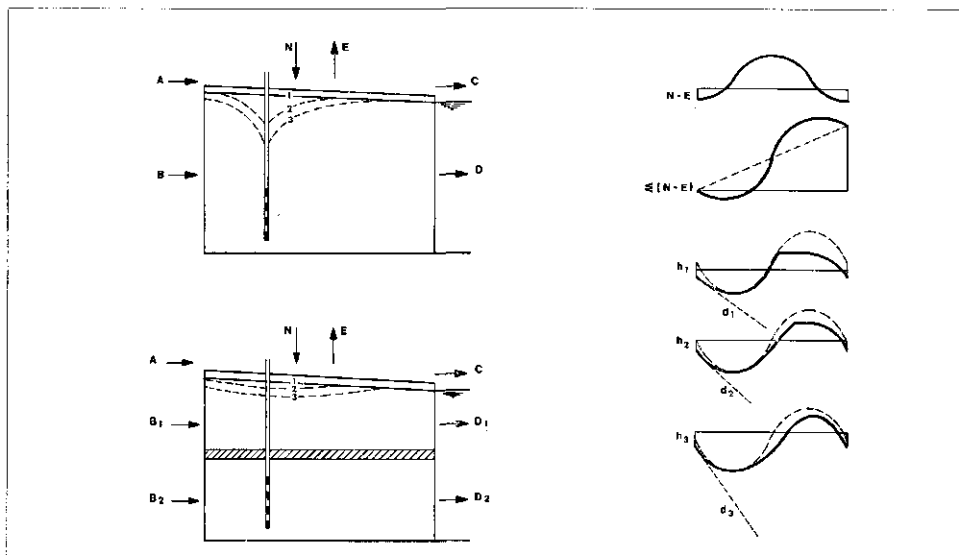
In de afbeelding zijn de afpompingstrechters die door de grondwateronttrekking zijn veroorzaakt, weergegeven. Op te merken valt dat deze trechters zich, zowel bij geval I A als bij I B, uitstrekken tot aan de grens van het stroomveld.

Voorts zijn in de afbeelding enige schematische grafieken van het neerslagoverschot  $N - E$  over een gemiddeld jaar, het gesommeerde neerslagoverschot  $\Sigma(N - E)$  en het verloop van de grondwaterstand op een punt in de omgeving van de grondwateronttrekking opgenomen. Het gesommeerde neerslagoverschot belooft voor de hoge gronden in Nederland 300 à 350 mm/jaar; er is aangenomen dat de grondwaterstand zo diep onder het terreinoppervlak ligt dat het grondwater buiten het bereik van de plantenwortels en dus buiten het bereik van de evapotranspiratie is.

De sinusvormige kromme  $h_1$  is de tijdstijg-hoogtelijn van het grondwater in de ongestoorde toestand. In deze grafiek is ook (gestreept) een rechte lijn  $d$  getekend die de daalsnelheid van de grondwaterstand aangeeft voor het geval dat juist bij de gemiddelde grondwaterstand gedurende enige tijd geen voeding van het grondwater uit de neerslag zou plaats vinden.

De ordinaat  $a$  geeft dan ook de stijging van de grondwaterstand die in het beschouwde jaar zou zijn opgetreden onder invloed van de voeding  $\Sigma(N - E)$  indien geen ondergrondse toe- en afstroming  $B$  en  $D$  hadden plaats gehad.  $\Sigma(N - E) : a$  levert de bergings- of uitleveringsfactor. In de afgebeelde grafiek  $h_1$  is de dalingslijn  $d$  (er is geen gangbare Nederlandse vakterm voor) de raaklijn aan de sinuslijn van de grondwaterstand; in de praktijk, bij grilliger fluctuerende grondwaterstand, zullen  $\partial$  en  $a$  uit een analyse van deze fluctuaties moeten worden afgeleid. De lijn  $d$  is in de afbeelding aangebracht om de overeenkomst aan te tonen tussen het oppervlak tussen de tijdstijg-hoogtelijn  $h_1$  en de lijn  $d$  enerzijds, en de grafiek  $\Sigma(N - E)$  anderzijds.

De lijnen  $h_2$  en  $h_3$  geven het verloop van de grondwaterstand bij onttrekking weer. De amplitude van de fluctuatie is niet veranderd (de voeding  $N - E$  is immers gelijk gebleven) doch de fluctuatie vindt plaats op een lager niveau. De dalingslijn  $d$  is evenmin als de amplitude veranderd (de leegloop is gelijk aan de gemiddelde voeding, die immers onveranderd is gebleven). De tijdstijg-hoogtelijnen  $h_1$ ,  $h_2$  en  $h_3$  zijn niet afzonderlijk voor de schema's I A en



Afb. 3 - Grondwateronttrekking in een gebied van hoge gronden met vrije bovengrondse afwatering.

I B getekend; zij zijn gelijk, met dien verstande dat de amplitudes kunnen verschillen en dat de dalingen door de grondwaterwinning in geval I B in de regel geringer zijn dan die in I A.

De schema's van een hoog gebied met vrije bovengrondse afwatering, de gevallen II A en II B, zijn weergegeven in afb. 3.

Dergelijke gebieden komen veelvuldig voor als overgang tussen de hoge gronden zonder oppervlakkige afvoer en de polders met hun beheerste oppervlaktewaterstand. Gebieden zoals Olden Eibergen, waarover in volgende lessen wordt gesproken, behoren hiertoe. Deze overganggebieden zijn, uit een oogpunt van natuurbehoud, op verschillende plaatsen bijzonder gevoelig voor grondwaterstands daling. Anderzijds zijn het veelal ook juist de gebieden waar cultuurtechnische maatregelen worden genomen ter bestrijding van wateroverlast in de winter, nl. door versnelling van de waterafvoer in dat seizoen.

De gemiddelde jaarlijkse waterbalans is hier wat gecompliceerder dan in de voorgaande gevallen en luidt voor geval II A:

$$(N + A + B) - (E + C + D + Q_w) = 0$$

Het invoeren of vergroten van de grondwaterwinning  $Q_w$  zal leiden tot een vergroting van de termen  $(B - D)$  en  $(A - C)$ . In welke verhouding dat geschiedt, d.w.z. of de vergroting van de term  $(B - D)$  belangrijker is dan de toeneming van  $(A - C)$  of juist andersom, kan van geval tot geval verschillen. (Dat door een verlaagde grondwaterstand de verdamping  $E$  iets kan verminderen, wordt hier buiten beschouwing gelaten.)

In de beide schema's II A en II B zijn weder de afpompingstrechters schematisch weergegeven. Zij reiken nu niet tot de grens van het stroomveld, maar zijn beperkter van omvang.

In de afbeelding 3 zijn voorts weder schematische grafieken van  $N - E$ ,  $\Sigma(N - E)$  en  $h_1$ ,  $h_2$  en  $h_3$  opgenomen. De grondwaterstand in de hoge gronden met vrije bovengrondse afwatering is in de regel zo ondiep dat in het groeiseizoen de vegetatie uit het grondwater kan putten. Daardoor vertoont de grafiek  $N - E$  in het zomerhalfjaar negatieve waarden. Het gesommeerde neerslagoverschot zal hier geringer zijn dan in de gevallen I A en I B; men kan het overschot hier stellen op 200 à 250 mm/jaar.

De tijdstijg-hoogtelijn  $h_1$  vertoont in de winterperiode een afplatting; het grondwater staat praktisch tot aan het maaiveld of tot het niveau van het ontwateringsstelsel en kan niet verder stijgen. Een groot deel van het neerslagoverschot stroomt in die periode bovengronds af. Bij grondwaterwinning daalt de gemiddelde grondwaterstand en het afgeplatte deel van de kromme wordt korter ( $h_2$ ). Bij een nog grotere onttrekking verdwijnt dit deel geheel ( $h_3$ ). Nog op te merken valt dat de zakkingslijn  $d$  steiler wordt van  $h_1$  naar  $h_3$ . Dit is logisch, aangezien de gemiddelde jaarlijkse voeding van het grondwater uit het neerslagoverschot bij  $h_2$  groter is dan bij  $h_1$ , en bij  $h_3$  weer groter dan bij  $h_2$  (het bovengronds afstromende deel van het neerslagoverschot is immers kleiner geworden). Wanneer de gemiddelde jaarlijkse voeding groter is geworden, moet ook de gemiddelde jaarlijkse afstroming (naar de rand van het stroomveld en naar de pompput) in gelijke mate zijn toegenomen; d.w.z. de afstroming gaat harder en de dalingslijn moet steiler zijn.

Wat hebben cultuurtechnische maatregelen ter versnelling van de afvoer nu voor gevolgen?

In de eerste plaats wordt het deel van het

gemiddelde jaarlijkse neerslagoverschot dat bovengronds afstroomt, groter en wordt de grondwatervoeding geringer. In de tweede plaats wordt de top van de sinusvormige tijdstijghoogtelijn op een lager niveau afgesneden (afgeplat) dan tevoren; de gemiddelde grondwaterstand, over een jaar genomen, komt daardoor op een lager niveau. Gaat men in zo'n situatie grondwater winnen, dan daalt in de droge tijd het grondwater tot een lagere stand dan zonder de cultuurtechnische ingreep het geval zou zijn geweest. Veelal zal die lagere stand voor de landbouw te laag zijn. Het is duidelijk dat het ongecoördineerd uitvoeren van grondwaterwinning enerzijds en van afvoerversnelling anderzijds tot ongewenste gevolgen leidt: voor de landbouw een te lage grondwaterstand en voor de waterleiding een te betreuren verlies aan water door de versterkte afvoer, en als gevolg daarvan geringere grondwaterwinningsmogelijkheden. Het is ook duidelijk dat in dergelijke gebieden het grondwater en het oppervlaktewater één complex vormen. Een afzonderlijk grondwaterbeheer naast een afzonderlijk oppervlaktewaterbeheer is hier dan ook feitelijk een onmogelijke zaak. Een afzonderlijk beheer van het oppervlaktewater kan in Nederland alleen gelden voor de grote rivieren en kanalen, waar een verband met het grondwater nauwelijks aanwezig is. Doch in de gebieden van de vrij afwaterende hoge gronden dient men tot een geïntegreerd beheer van grond- en oppervlaktewater te komen. Wat ligt nu meer voor de hand dan, met als achtergrond deze gedachte aan een integraal waterbeheer, te streven naar het op elkaar afstemmen van grondwaterwinning en bestrijding van wateroverlast in de winter?

De vraag is gemakkelijker gesteld dan zij kan worden beantwoord; de technische, financiële en organisatorische aspecten zijn niet gering.

Het is echter verheugend te constateren dat in verschillende kringen van waterleiding- en cultuurtechnici het probleem in studie is. Op enkele aspecten wordt in volgende lessen ingegaan.

In het voorgaande zijn enkele beschouwingen gegeven over waterbalansen van betrekkelijk kleine gebieden. Het is interessant daarnaast nog enige aandacht te besteden aan de waterbalansen van het zoete grondwater in het gehele hoge deel van Nederland, en wel aan de hand van een, ook elders door anderen meermalen in min of meer overeenkomstige vorm gepubliceerd overzicht, waaruit de onderlinge verhouding van de verschillende posten van deze waterbalansen blijkt. (TABEL II.) Het resterende grondwater blijft afstromen volgens het patroon dat bepaald wordt door

TABEL II - Neerslag, jaarlijkse aanvulling van het grondwater en geschat winbaar grondwater in het deel van Nederland met zoet grondwater.

Oppervlakte van Nederland waar zoet grondwater aanwezig is	± 23.000 km <sup>2</sup>
Neerslag over dit gebied gemiddeld ca. 750 mm/jaar	± 17,25 miljard m <sup>3</sup> /jaar
Verdamping, verbruik door de plantegroei, en bovengrondse afstroming van regenwater, gemiddeld ca. 500 mm/jaar	± 11,5 miljard m <sup>3</sup> /jaar
Gemiddelde jaarlijkse aanvulling van het grondwater (het verschil tussen 17,25 en 11,5 miljard m <sup>3</sup> /jaar, het z.g. nuttig neerslagoverschot)	± 5,75 * miljard m <sup>3</sup> /jaar
Hiervan winbaar geacht t.b.v. de drink- en industiewatervoorziening, volgens de raming in het Structuurschema	± 1,9 miljard m <sup>3</sup> /jaar
Resteert	± 3,85 miljard m <sup>3</sup> /jaar

\* Dit getal is gebaseerd op voorzichtige ramingen; het is niet onwaarschijnlijk dat het in werkelijkheid hoger is.

de natuurlijke en waterstaatkundige omstandigheden in Nederland.

Wat in de balans opvalt is de grootte van de resterende grondwaterafstroming, in verhouding tot de geraamde maximale grondwaterwinningsmogelijkheden. Ook in een droog jaar zal nog een aanzienlijk kwantum grondwater langs natuurlijke weg blijven afstromen. De grondwaterbalans van Nederland biedt dus geenszins een verontrustende aanblik; er is geen sprake van uitputting of van een 'negatieve balans' zoals in sommige dag- of weekbladartikelen wel geponoerd is. Er is slechts, globaal gesproken, in het verleden een geleidelijke verschuiving in enkele posten geweest: de grondwateronttrekking is groter geworden en de resterende grondwaterafstroming is verminderd. De totale waterbalans is echter praktisch niet veranderd.

De bovengenoemde hoeveelheden, hoe belangrijk zij op zichzelf ook zijn, zijn gering in verhouding tot de voorraad zoet grondwater in Nederland, die ruwweg geraamd kan worden op 500 à 1.000 miljard m<sup>3</sup>. Van deze zeer indrukwekkende voorraad kan echter in Nederland, in kwantitatieve zin, geen gebruik worden gemaakt: er kan noch op worden ingeteerd, noch kan op een schaal van enige betekenis de voorraad als buffer worden gebruikt voor het overbruggen van langdurige droge perioden. De oorzaken hiervan zijn bekend: de afhankelijkheid van vegetatie en landschap (in het overgrote deel van Nederland) van een ondiepe grondwaterstand die slechts beperkte fluctuaties mag vertonen. De grondwatervoorraad in Nederland is dus als het ware onaantastbaar. (Een uitzondering moet worden gemaakt voor enkele duingebieden, waar door interen aan de zeezijde zoet water is verdwenen en vervangen door zout water.)

Het feit van het verhoudingsgewijs geringe winbare gedeelte van het nuttig neerslagoverschot in Nederland heeft aanleiding gegeven tot studies in verschillende werkgroepen om methoden te vinden die kunnen leiden tot een optimaal gebruik van het beschikbare water ten dienste van alle daarbij betrokken belangen (o.a. Werkgroep Salland en Technische Werkgroep Water-

huishouding Gelderland). Deze, moeilijke, studies zijn evenwel nog niet voltooid. Genoemde studies hebben voornamelijk betrekking op de kwantitatieve aspecten van de waterbalansen en het grondwaterregiem; het gaat daarbij vooral om methoden van grondwateronttrekking gecombineerd met technische maatregelen die de nadelige effecten van de onttrekking voor andere belangen kunnen compenseren. Als gevolg van de grote aandacht die aan de kwantitatieve aspecten van de waterbalansen wordt gegeven, figureert het gewonnen grondwater op deze waterbalansen vrijwel altijd als een uitgaande post, zelfs als het om vrij grote balansgebieden gaat. In vele gevallen zal dit ook wel onvermijdelijk zijn: veel van het in de zoete grondwatergebieden van Nederland gewonnen water wordt getransporteerd naar steden buiten dat areaal. Een gedeelte echter wordt gedistribueerd binnen of nabij het gebied van herkomst. Het zou de moeite waard zijn te onderzoeken welk gedeelte van dat gedistribueerde water, na zuivering, zou kunnen worden geïnfiltreerd binnen het balansgebied en aldus zou kunnen bijdragen tot een gunstiger grondwaterbalans en grotere mogelijkheden tot grondwaterwinning. Als van de voor de toekomst geraamde mogelijke grondwaterwinning van 1,9 miljard m<sup>3</sup>/jaar zelfs maar 10 % (ca. 0,2 miljard m<sup>3</sup>/jaar) zou kunnen worden teruggebracht in de grondwaterbalansen, kan de aanleg van veelal kostbare oppervlaktewaterleidingen van gelijke capaciteit achterwege blijven. Het terugvoeren van ca. 0,2 miljard m<sup>3</sup> volledig gezuiverd stedelijk afvalwater per jaar in de ondergrond behoeft geen hygiënische bezwaren en vermoedelijk evenmin milieubezwaren op te leveren. Deze geringe hoeveelheid komt immers terecht in een grondwaterreservoir van 500 à 1.000 miljard m<sup>3</sup> inhoud, met een jaarlijkse 'doorspoeling' (aanvulling uit nuttige neerslag) van ca. 5,75 miljard m<sup>3</sup>/jaar. De verdunning en afvlakking zijn dus zeer groot. Echter zal de lezer begrijpen, dat de hier genoemde getallen gemiddelden voor heel Nederland zijn; sommige balansen van kleinere gebieden kunnen wel minder

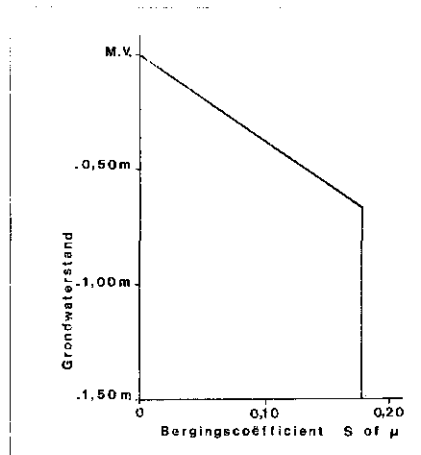
gunstig, doch nog niet ongunstig zijn. Het is in dit verband wellicht interessant te wijzen op de, in september 1972 door G.S. van Zuid-Holland ingestelde, studiecommissie Indraf (integratie drinkwatervoorziening en afvalwaterzuivering), die onlangs haar rapport uitbracht. Deze commissie hield zich voornamelijk bezig met de bedrijfstechnische aspecten van een nauwer samengaan van drinkwatervoorziening en afvalwaterzuivering, en bemoeide zich (nog) niet met drinkwater en afvalwater als complementaire posten op de waterbalans. Dit neemt niet weg dat ook de instelling van deze commissie weder een stap kan zijn op de goede weg naar een integraal kwalitatief beheer van het water.

#### Moelijkheden bij het berekenen en meten van de hydrologische gevolgen van een grondwateronttrekking

Dat bij stichting of uitbreiding van een grondwateronttrekking, zowel vooraf als na verwezenlijking van de onttrekking, geohydrologisch en ander onderzoek nodig is, behoeft nauwelijks betoog. Het waterleidingbedrijf wil immers weten of, hoeveel en hoe water gewonnen kan worden en welke kwaliteit te verwachten is; de overheid die de aanvraag om vergunning tot onttrekking moet beoordelen, wil weten in welke mate andere belangen door de grondwateronttrekking benadeeld zouden kunnen worden en op welke wijze deze nadelen zouden kunnen worden onderzocht door technische maatregelen zoals opstuwen van beken en kunstmatige aanvulling van het grondwater; en tenslotte moet de overheid kunnen antwoorden op de vraag in hoeverre claims om schadevergoeding die door andere, mogelijk benadeelde belanghebbenden worden ingediend, gerechtvaardigd zijn.

De omvang en het multidisciplinaire karakter van de bedoelde onderzoeken alsook de instanties of organisaties die zulk onderzoek kunnen uitvoeren, worden omschreven in een door het Technische Secretariaat van de Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven samen te stellen nota, 'Onderzoek ten behoeve van de afweging van belangen betrokken bij het grondwater'.

Van deze gelegenheid zij gebruik gemaakt om vergunningaanvragers voor grondwaterwinning, aan te bevelen, om zo tijdig mogelijk met het genoemde Technisch Secretariaat overleg te plegen over het voor de beoordeling van de vergunningaanvraag nodige onderzoek; tijdig wil hier zeggen: zodra nog maar de eerste plannen tot stichting of uitbreiding van een grondwateronttrekking gemaakt zijn.



Afb. 4 - Verband tussen bergingscoëfficiënt en grondwaterstand bij hoge standen.

Het vereiste onderzoek zal ten dele en veelal in eerste instantie geohydrologisch zijn. Dat onderzoek is in de meeste gevallen niet eenvoudig; integendeel, men heeft te maken met een uiterst complex probleem, waaraan tal van moeilijkheden verbonden zijn. In hierna volgende lessen wordt ingegaan op de diverse methoden van berekening van de geohydrologische gevolgen van een grondwateronttrekking en op het bepalen van de in die berekeningen te gebruiken grootheden, zoals de doorlatendheid en andere hydrologische eigenschappen van de verschillende aardlagen. Als voorbereiding op deze lessen wordt in het onderstaande een overzicht gegeven van de meest voorkomende, maar toch soms over het hoofd geziene moeilijkheden en complicaties waarmede bij het geohydrologisch onderzoek rekening moet worden gehouden. De geohydrologische berekeningen waarvan in het voorgaande sprake is, zijn voor het merendeel gebaseerd op het uitgangspunt dat men te maken heeft met

- een doorlatend medium,
- een daarin in stroming zijnde vloeistof of vloeistoffen,
- de randvoorwaarden die deze stroming bepalen.

a. **Het medium** heeft een aantal eigenschappen die in de hydrologische berekeningen worden gebruikt en waarvan wordt verondersteld dat zij een in de tijd onveranderlijke waarde hebben.

Dit laatste nu is in enkele gevallen bepaald niet waar en kan de oorzaak van onjuiste conclusies zijn. De belangrijkste bronnen van fouten in dit opzicht liggen bij de bergingscoëfficiënt  $S$  van een watervoerend pakket en de hydraulische weerstand  $c$  van een weinig doorlatende laag.

Bij de bergingscoëfficiënt van een freatisch pakket speelt de diepte van het freatisch

vlak, d.w.z. de diepte waarop zich het bergingsverschijnsel afspeelt, vaak een rol: in de meeste Nederlandse gebieden met ondiepe grondwaterstand geldt, dat hoe dieper de waterstand is, hoe groter de bergingscoëfficiënt (of uitleveringsfactor) (zie afb. 4). De verklaring hiervan is dat bij hoge waterstanden de onverzadigde zone dicht bij het stadium van volledige verzadiging verkeert en weinig bergingsmogelijkheid biedt.

In afb. 4 is de bergingscoëfficiënt voor diepten beneden 0,70 m als een constante aangegeven; indien echter de bodem gelaagd is opgebouwd, moet ook als gevolg daarvan een veranderlijke waarde van  $S$  worden verwacht.

Bij snelle waterstandsdingen moet voorts gerekend worden met achterblijven en langzaam nazakken van water; bij snelle stijgingen treedt insluiten van lucht op. Beide laatste verschijnselen resulteren in een te lage  $S$ -waarde.

Van spanningswater is reeds lang bekend dat de bergingscoëfficiënt voor dalende waterstand kan verschillen van die voor stijgend water.

Tenslotte zij ook het verschijnsel van Noordbergum in herinnering gebracht: bij het aanvangen van een wateronttrekking aan een zandlaag met (semi-)spanningswater treedt een kortstondige stijging van de grondwaterpotentialaol op in boven- en onderliggende zandlagen, die verband houdt met het elastisch gedrag van de lagen.

Belangrijker nog dan de onzekerheden in de waarden van de bergingscoëfficiënt zijn die in de weerstand  $c$ . De waarde van  $c$  van een weinig doorlatende laag verandert van plaats tot plaats; er zijn gedeelten met relatief hoge waarden en er zijn zwakke plekken of zelfs gaten in de  $c$ -laag. Die zwakke plekken beïnvloeden in hoge mate het stromingspatroon van het grondwater dat de  $c$ -laag passeert; zij vertonen zich als plaatsen van geconcentreerde stroming. De waarde voor  $c$  die uit de analyse van een pompproof of een waterbalans volgt, is daardoor een min of meer toevallige waarde die behoort bij het toen aanwezige stromingspatroon; d.w.z. dat deze waarde sterk is bepaald door de weerstand en grootte van de 'meespelende' gaten. Als nu het stromingspatroon, bijv. als gevolg van een grondwaterwinning, zich wijzigt, is het mogelijk en zelfs waarschijnlijk dat daardoor andere zwakke plekken belangrijk worden, terwijl de eerste een geringer aandeel in het grondwatertransport door de  $c$ -laag krijgen. Analyseert men nu opnieuw de gegevens van de grondwaterstroming, dan zal daaruit een andere  $c$ -waarde resulteren dan uit de eerste analyse. Een schetsmatig voorbeeld is gegeven in

afb. 5: in de situatie zonder grondwateronttrekking speelt alleen gat A mee, terwijl bij onttrekking ook t.p.v. gat B een potentiaalverschil tussen het freatische en het diepe grondwater is ontstaan.

Een soortgelijke moeilijkheid bij het bepalen van de c-waarde kan zich voordoen in gebieden met kwel, zoals in vele polders in westelijk Nederland. Er bevindt zich daar een goed doorlatend zandpakket met semi-spanningswater, afgedekt door een slecht doorlatende formatie, waarboven een tweede, maar veel dunner en minder goed doorlatend pakket met freatisch water is gelegen. Het spanningswater heeft veelal een grotere stijghoogte dan het freatisch water, kwelt omhoog en het kwelwater wordt afgevoerd door de poldersloten (afb. 6).

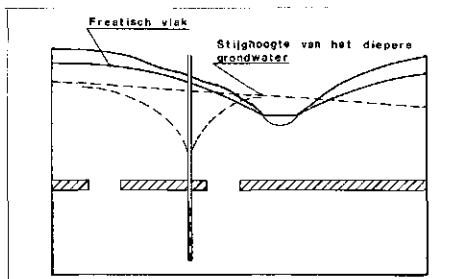
In vele polders wordt de kwel nog vermeerderd door de aanwezigheid van artesische wellen, door de landbouwers gebruikt voor veedrenking of voor koeloeleinden. Het effect van deze kunstmatige perforaties van de c-laag is uiteraard in de uit analyse van de grondwaterstroming verkregen c-waarde verdisconteerd.

Zou nu, door grondwateronttrekking uit het diepere pakket, de kwelstroming over een deel van het gebied omslaan in een infiltratie, dan kan een duidelijk verschillende c-waarde ontstaan. Immers, voor het zich verwezenlijken van infiltratie is water nodig. Nu werken de wellen echter alleen als welput, doch niet als infiltratieput, want niemand giet er water in. Deze perforaties doen dus niet meer mee. Men zal nu een lagere c-waarde vinden.

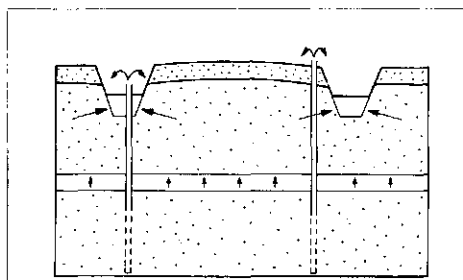
Het zal uit het voorgaande ook duidelijk zijn dat het riskant is om de c-waarde te trachten te bepalen in het laboratorium uit grondmonsters: de zo belangrijke zwakke plekken in de c-laag komen namelijk onvoldoende naar voren.

In het kader van deze opsomming dient ook herinnerd te worden aan het effect van de aanwezigheid van dikke kleilagen in of als begrenzing van het watervoerend zandpakket. De uitlevering van water door deze kleilagen tijdens pompproeven of grondwaterwinningen is moeilijk te onderscheiden van de percolatie die door de begrenzende kleilagen van het watervoerend pakket heen plaats vindt. Nu is het juist de percolatie die, samen met het potentiaal verhang, de c-waarde van een kleilaag bepaalt. Door de aanwezigheid van de genoemde uitlevering lijkt de percolatie groter te zijn dan zij is, en men vindt uit de analyse van de proef een te geringe c-waarde. Het uitleveringsproces kan zeer lang (vele jaren) doorgaan, hoewel het effect dan wel sterk afneemt.

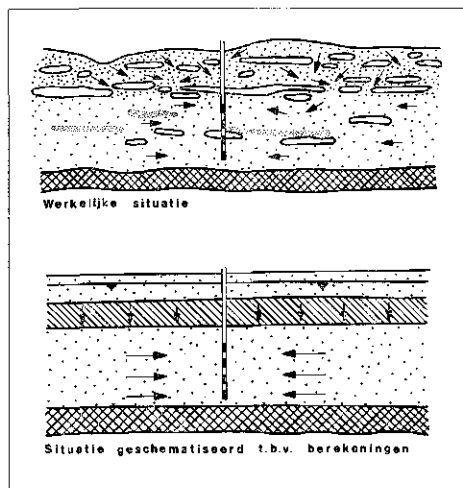
b. De vloeistof, het grondwater, levert in



Afb. 5 - De invloed van gaten in een slecht doorlatende laag op de waarde van de effectieve weerstand  $c$ .



Afb. 6 - De invloed van perforaties (wellen) in een slecht doorlatende laag op de waarde van de effectieve weerstand  $c$  in een gebied met kwel.



Afb. 7 - Invloed van heterogeniteiten in de bodem.

de regel weinig problemen op bij hydrologische berekeningen. De compressibiliteit is een bekende grootheid en de dichtheid is alleen van belang in problemen met zoet en brak of zoutwater. Volstaan zij hier met op te merken dat bij beschouwingen over de stroming van zoet en zout water nogal eens vergeten wordt, dat de vervanging van zoet door zout water (door welke oorzaak dan ook) zelf een extra oorzaak van daling van de zoetwaterpotentiaal en dus voor de grondwaterstand is.

c. De randvoorwaarden kunnen wel weer allerlei moeilijkheden opleveren. Veelal zijn zij variabel, zoals de onder invloed van de seizoenen optredende wisselingen in de neerslag en de verdamping.

Een ernstiger probleem ontstaat echter als door verandering van een der randvoorwaarden, bijv. onttrekking van grondwater, een of meer andere randvoorwaarden gaan veranderen, en wel in een niet van tevoren te voorspellen mate. Een voorbeeld hiervan is het gedeeltelijk droogvallen van sloten of beken als gevolg van grondwateronttrekking, waardoor deze sloten en beken tijdelijk hun invloed op het grondwaterstroomveld verliezen. Juist in verband met de behoefte om vooral in de bovenste grondlagen de effecten van grondwateronttrekking na te gaan — dit met het oog op mogelijke schade aan de belangen van landbouw en natuurbehoud — is kennis van deze veranderlijke randvoorwaarden noodzakelijk.

Een ander probleem kan zich voordoen indien men de hydrologische gevolgen van een grondwateronttrekking wil afleiden uit een vergelijking van de hydrologische toestand voor de aanvang van de onttrekking en die ten tijde van de onttrekking. Indien in het tijdvak tussen de twee vergelijkingsdata een kunstmatige wijziging van de randvoorwaarden is opgetreden, bijv. door cultuurtechnische werken waarbij de oppervlaktewaterafvoer versneld is, ontstaan grote moeilijkheden. In ieder geval dient men er op bedacht te zijn dat in het intensief geëxploiteerde Nederland in de laatste tientallen jaren vele werken zijn en worden uitgevoerd die hydrologische consequenties hebben, i.c. een verandering van onze randvoorwaarden betekenen.

Het freatisch vlak vormt de bovenrand van de grondwaterstroming. In verband met de belangen van landbouw en natuurbehoud vraagt men in Nederland van de geohydrologen in het bijzonder een uitspraak over het gedrag van het freatisch vlak onder invloed van een grondwateronttrekking. Hier nu echter levert de heterogeniteit van de bovenste bodemlagen een moeilijkheid op. In tegenstelling tot heterogeniteiten in de grote watervoerende zandpakketten, die weinig problemen opleveren bij de berekening van de bodemconstanten en het stroomveld, zijn heterogeniteiten in de bovenste lagen van grote invloed op het stroombeeld in die lagen en daarmee op invloed van een onttrekking. Afb. 7, waarin de werkelijke en de voor analytische berekeningen geschematiseerde bodemopbouw zijn weergegeven, verduidelijkt deze stelling voldoende.

Tenslotte zij nog gewezen op onverwachte veranderingen in de grondwaterstand die verband houden met capillariteitsverschijnselen in de onverzadigde zone. Een uitgebreide reeks van oorzaken valt hier te noemen:

vorst en dooi, dauw, opsluiten van lucht bij sterke regenval, plotseling verdwijnen van de capillaire zône bij plasvorming, enz. De fluctuaties van de grondwaterstand bedragen veelal centimeters, soms decimeters. Ook de invloed van de barometerstand als storende factor mag niet onvermeld blijven.

In volgende lessen zal worden toegelicht hoe, ondanks de vele problemen, de hydrologen en landbouwkundigen er toch in slagen om tot verantwoorde conclusies te komen.

**OVERZICHT VAN ENKELE GEOHYDROLOGISCHE BEGRIPPEN.**

(Zie ook afbeelding 8.)

- k** = doorlaatfaktor of doorlatendheidscoëfficiënt; de hoeveelheid water die per eenheid van tijd door een eenheid van doorsnede stroomt bij een hydraulisch verhang van 1; (m/dag of cm/sec).
- T=kD** = doorlaatvermogen van een watervoerend pakket;  $kD = \sum k_n D_n$ , de som van de doorlaatvermogens van de verschillende lagen waaruit een watervoerend pakket is opgebouwd; (m<sup>2</sup>/dag).
- c** = hydraulische weerstand van een weinig doorlatende laag;  $c = D/k$  . (dagen).
- λ** = spreidingslengte van een watervoerend pakket;  $\lambda = \sqrt{kDc} = \sqrt{Tc}$ ; (m).
- S** = bergingscoëfficiënt; de hoeveelheid water die, per horizontale eenheid van oppervlak, in het watervoerend pakket vrijkomt resp. geborgen wordt indien de grondwaterstijg hoogte één eenheid van hoogte wordt verlaagd resp. verhoogd (dimensieloos). De bergingscoëfficiënt

- van een pakket met spanningswater wordt wel de elastische bergingscoëfficiënt genoemd.
- μ** = uitleveringsfaktor; een andere benaming voor de bergingscoëfficiënt van een pakket met freatisch water.
- n** = poriëngehalte van een poreus medium; dat deel van een monster van het medium dat niet ingenomen wordt door vaste stof; (volumepercenten).
- n<sub>e</sub>** = effectief poriëngehalte bij stroming; dat gedeelte van een monster van het medium dat niet ingenomen wordt door vaste stof en niet door het moleculair gebonden waterhuidje rondom en tussen de korrels; (volumepercenten).
- n<sub>f</sub>** = effectief poriëngehalte bij frontverplaatsing; daar het moleculair gebonden water langs de weg van diffusie opgeloste stoffen uit het langstromende water kan opnemen en ze ook weer kan afstaan, doet bij de verplaatsing van een front van water van andere samenstelling dan het aanvankelijk aanwezige water praktisch het gehele poriënvolume mee. Derhalve  $n_f \approx n$ .
- U** = soortelijk oppervlak; de verhouding van het gezamenlijke oppervlak van alle korrels tot het gezamenlijke oppervlak van een gelijke gewichtshoeveelheid korrels van dezelfde stof met een diameter van 1 cm. (Het U-cijfer heeft alleen betrekking op de zandfractie).
- d<sub>m</sub>** = maatgevende korreldiameter; die diameter waarbij nog 10 gewichtspercenten van de deeltjes van het desbetreffende monster een kleinere diameter hebben.
- M<sub>50</sub>** = mediaanwaarde; de mediaanwaarde geeft een zodanige korrelgrootte aan, dat 50 gewichtspercenten van de zandfractie

- uit deeltjes kleiner en 50 gewichtspercenten uit deeltjes groter dan die korrelgrootte bestaat. (De mediaanwaarde heeft betrekking op alle minerale delen, d.w.z. zand + slib).
- e** = vochtgehalte van de grond; dat deel van een monster van de grond dat ingenomen wordt door water; (fracties, of procenten van het volume of van het gewicht).
- Ψ** = vochtspanning; de spanning waaronder het water verkeert t.g.v. de door de grond op het water uitgeoefende capillaire krachten; (bar of cm waterkolom).
- p<sub>F</sub>** = logaritme van de vochtspanning; ( $p_F = \log \Psi$ ).



Afb. 8 - Illustratie van enkele geohydrologische begrippen.

