

De beschermende werking van afdekkende lagen voor de grondwaterkwaliteit

Voordracht op de lezingdag 'Grondwaterverontreiniging en -bescherming' georganiseerd door Hydrologische Kring/VWN op 2 mei 1979.

1. Inleiding

De Commissie Bescherming Waterwingebieden (CBW) heeft voorgesteld om de omvang van beschermingszônes rond grondwaterwinplaatsen te bepalen door het berekenen van verblijftijden in het pakket waaruit water wordt gewonnen. Dit houdt in dat de tijdsduur van de stroming door bovengelegen afdekkende lagen buiten beschouwing wordt gelaten.

Eén van de redenen voor deze keuze is, dat in veel gevallen moet worden getwijfeld aan het ononderbroken voorkomen van weer-



IR. M. G. M. DEN BLANKEN
KIWA

standbiedende lagen.

In het navolgende zullen enkele achtergronden van deze twijfels nader worden belicht. Vervolgens zal aan de hand van enkele berekeningsresultaten worden getoond in welke orde van grootte de verschillen kunnen liggen tussen zônes gebaseerd op verblijftijden vanaf het maaiveld en die gebaseerd op verblijftijden alleen in het watervoerend pakket.

2. Kwalitatieve beschouwing

Voor een aantal geologische afzettingen kan twijfel aan de homogeniteit al worden gerechtvaardigd vanuit hun ontstaanswijze (lit. 1, 2, 4).

Keilemlagen bijvoorbeeld, dat zijn afzettingen ontstaan onder gletsjers, zijn tijdens het terugtrekken van het landijs versneden als gevolg van de eroderende werking van smeltwaterrieviertjes. De dikte van deze lagen kan daarom binnen korte afstanden zeer grote verschillen vertonen en plaatselijk zelfs tot nul zijn gereduceerd.

Kleilagen die zijn afgezet door de grote rivieren, bevatten zandbanen en -lenzen als gevolg van wijzigingen in de loop van de rivieren.

Kleilagen die zijn afgezet in een marien milieu of in gletsjermereën, dat wil zeggen onder rustige omstandigheden, kunnen als behoorlijk homogeen worden beschouwd. In de Eemkleilagen onder de Gelderse Vallei zijn echter 'gaten' geconstateerd, waarvan momenteel wordt gedacht, dat ze door vorstwerking zijn ontstaan.

Dezanden, ontstaan onder invloed van de wind, zijn vanwege de onregelmatige afzettingwijze heterogeen van opbouw. In de tijd na het tot stand komen van de afzettingen kunnen vormveranderingen zijn

opgetreden door erosie en hersedimentatie van het oorspronkelijke materiaal. Hierdoor kunnen restvormen met scherpe begrenzingen ontstaan (bijvoorbeeld uitwiggende kleilagen). Structurele vervormingen kunnen de oorspronkelijke begrenzingen van het materiaal eveneens sterk veranderen, bijvoorbeeld door opheffing en inzakken langs breuken, stuwingsverschijnselen door ijs, verplooiing van aquifers, enz.

Het inzicht in het voorkomen van onderbrekingen in weerstandbiedende lagen is de laatste jaren toegenomen door uitgebreidere geohydrologische onderzoeken. Voorts hebben zich bij een aantal winningen gevallen voorgedaan als het beïnvloeden van ondiepe grondwaterstanden door diepe winningen (Noord-Bergum, Losser) en het aantreffen van verontreinigingen in het opgepompte water (denk aan Almelo en Zeist, lit. [2]), waar deze verschijnselen door aanwezigheid van slechtdoorlatende lagen niet werden verwacht.

Hiermee is aangetoond, dat de term afsluitende of impermeabele laag met grote voorzichtigheid moet worden gebruikt. Volledig afsluitende lagen in absolute zin bestaan niet. Water zoekt de weg van de minste weerstand, en als het op zijn weg een slecht doorlatende kleilaag tegenkomt, dan zal het er toch doorheen dringen, tenzij een grotere omweg om zo'n laag heen minder weerstand oplevert. Indien een plek met een hogere doorlatendheid in een kleilaag aanwezig is, dan zal een belangrijk deel van de waterstroom zich hierin concentreren.

De maat die in de geohydrologie wordt gebruikt om het weerstandbiedend vermogen van een bodemlaag aan te duiden is de c-waarde. De c-waarde is gedefinieerd als het quotiënt van de laagdikte en de doorlatendheid en heeft de dimensie tijd. Het feit dat het hier gaat om een gemiddelde waarde, duidt reeds aan dat de in het onderzoek gevonden c-waarde sterk schaal-

gebonden is, dat wil zeggen afhankelijk van de grootte van de regio waarover het onderzoek zich heeft uitgestrekt. Een kleine pompbeurt zal in de regel een andere c-waarde opleveren dan een grote pompbeurt op dezelfde plaats. En deze waarden zullen weer verschillen van een aan een monster bepaalde c-waarde. Bovendien is de nauwkeurigheid waarmee c-waarden kunnen worden bepaald, niet erg groot.

Om die redenen geven c-waarden weinig houvast als het er om gaat uitspraken te doen over de beschermende werking van weerstandbiedende lagen.

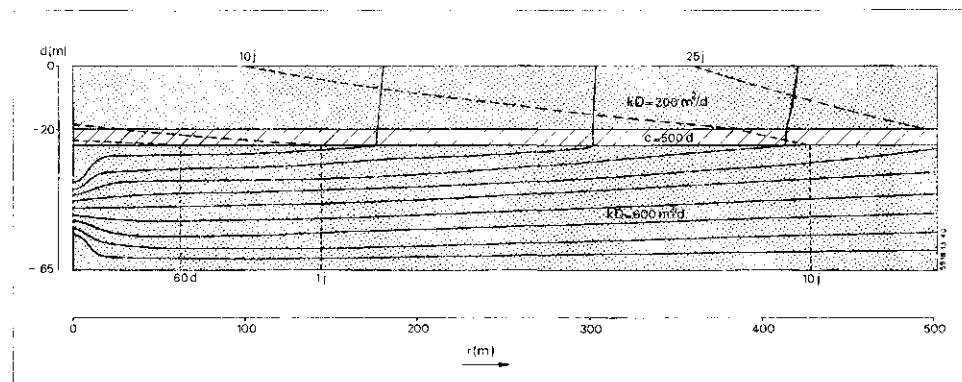
3. Kwantitatieve beschouwing

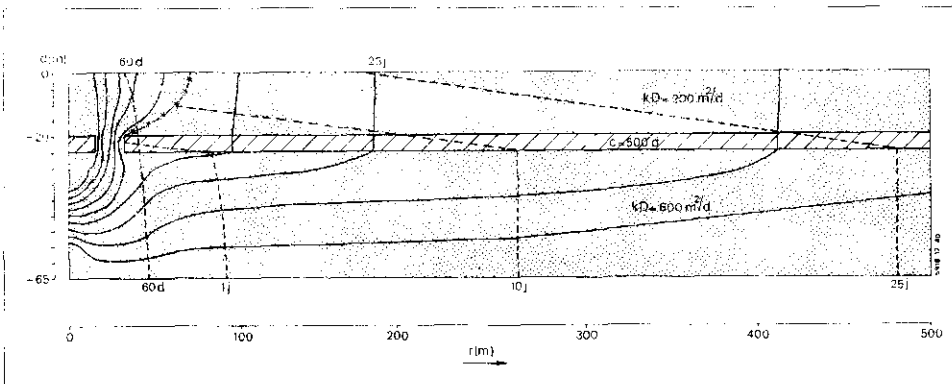
Om de voorgaande kwalitatieve beschouwingen enigszins te kunnen kwantificeren zijn een aantal berekeningen uitgevoerd. Dit is gebeurd met een numeriek model volgens een methode ontwikkeld door Van den Akker (publicatie in voorbereiding). De essentie van de methode is, dat een axiaal symmetrisch model wordt getransformeerd tot een twee-dimensionaal model in het verticale vlak. Op deze wijze kan de stroming naar of van één put in een meerslagensysteem worden gesimuleerd. Dit is gedaan voor een aantal verschillende stromingssituaties.

De linkerzijde van het model stelt de as van het stromingsveld voor. Ter hoogte van het putfilter geldt als randvoorwaarde een constant onttrekkingsdebiet. Het overige deel van deze rand, evenals de hele benedenrand wordt beschouwd als ondoorlatend. Langs de rechterrand, in deze voorbeelden gekozen op een afstand van 500 m van de put, wordt een vaste potentiaal aangenomen. Voor de bovenrand tenslotte zijn afwisselend twee verschillende randvoorwaarden gebruikt: ofwel een vaste potentiaal, de situatie met een vast peil van het freatisch water weergevend, ofwel een constant debiet

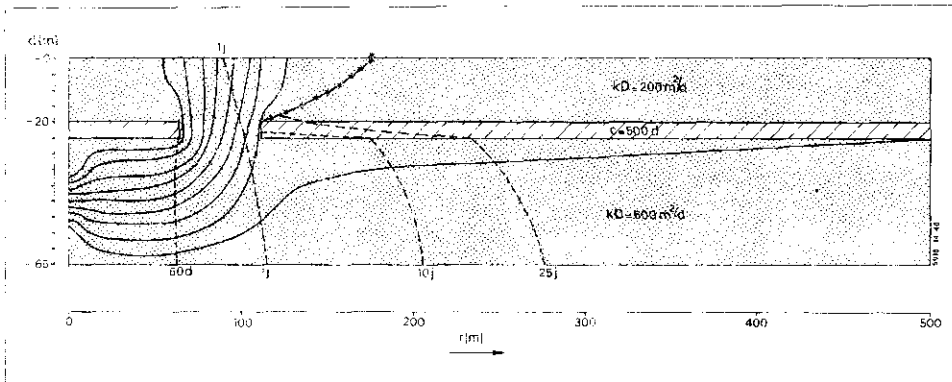
Afb. 1 - Stroomlijnenpatroon (van 0 tot 100 % met stappen van 10 %) in geval van een homogene weerstandbiedende laag ($c = 500$ d) en een constante potentiaal in het bovenste pakket. Onttrekking $Q_0 = 875.000$ m³/j

— = stroomlijn
- - - = isochroon





Afb. 2 - Idem als afb. 1, echter nu met een onderbreking in de weerstandbiedende laag tussen 16 en 32 m afstand van het onttrekkingscentrum. —*—*—* = waterscheiding.



Afb. 3 - Idem als afb. 1, nu met een onderbreking in de weerstandbiedende laag tussen 64 en 122 m van het winningscentrum.

in de vorm van een uniform verdeelde voeding van 1 mm/d. Deze situaties komen voor in respectievelijk een poldergebied met beheerst polderpeil en een gebied met diepe grondwaterstanden.

In alle berekeningen is een effectieve porositeit van 30 % gehanteerd. Met name ten aanzien van de weerstandbiedende lagen bestaat geen zekerheid over de juistheid van deze aanname.

In het eerste geval wordt een hoeveelheid van 875.000 m³/j onttrokken aan een middelmatig doorlatend pakket (kD = 600 m²/d) op een diepte van 25-65 m -m.v. De onttrekking is geconcentreerd gedacht in één put.

Boven het watervoerende pakket bevinden zich achtereenvolgens een 5 m dikke weerstandbiedende laag met een c-waarde van 500 d (dat wil zeggen k = 0,01 m/d, sterk slijbhoudend fijn zand) en een beter doorlatende grofzandige laag met kD = 200 m²/d.

Er wordt uitgegaan van een situatie waarbij langs de bovenrand van het model een constante potentiaal wordt gehandhaafd, dat wil zeggen het klassieke De Glee-geval.

In afb. 1 is de weerstandbiedende laag homogeen verondersteld. De getrokken lijnen stellen de stroomlijnen voor. Ze geven de ondergrens van het deel van de bodem waardoor

een x-percentage van het grondwater stroomt. De percentages lopen van 10 t/m 90 % van de hoeveelheid onttrokken water met intervallen van 10 %.

De onderbroken lijnen zijn de isochronen (= lijnen van gelijke verblijftijd). Een isochron is de verzameling van punten waar waterdeeltjes eenzelfde tijd nodig hebben om de winplaats te bereiken.

Het blijkt dat de 10- en 25-jaarischronen op aanmerkelijk kortere afstand van de winplaats de bovenrand van het model snijden dan waar zij zich in het watervoerend pakket bevinden. Voor de 10-jaarlijn zijn deze afstanden respectievelijk

100 m en 430 m, en voor de 25-jaarlijn respectievelijk 350 m en 650 m. De laatste afstand is berekend met behulp van een analytische formule.

Evenals in de semi-permeabele laag zijn de verticale stroomsnelheden in het erboven gelegen goed doorlatende pakket gering. Dit is het gevolg van de geringe beschikbare potentiaalverschillen: het water stagneert.

Afb. 2 geeft het stroomlijnenbeeld weer voor het geval dat de semi-permeabele laag tussen 16 en 32 m afstand van de winplaats is onderbroken door goed doorlatend bodemmateriaal. Bedenk, dat dit in feite een ringvormig 'gat' rond het winningscentrum voorstelt, aangezien is uitgegaan van een radiaal model.

Het blijkt dat meer dan 50 % van het naar de put toestromende water zich op deze plek concentreert.

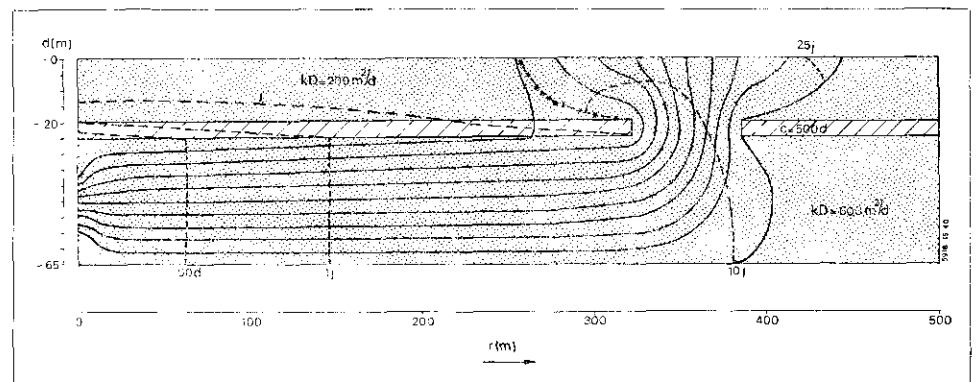
Via het watervoerende pakket hoeft dus veel minder water toe te stromen dan in het voorgaande voorbeeld, waardoor lagere stroomsnelheden optreden en dientengevolge de isochronen op kortere afstand van de pompput komen te liggen (op respectievelijk 270 en 470 m).

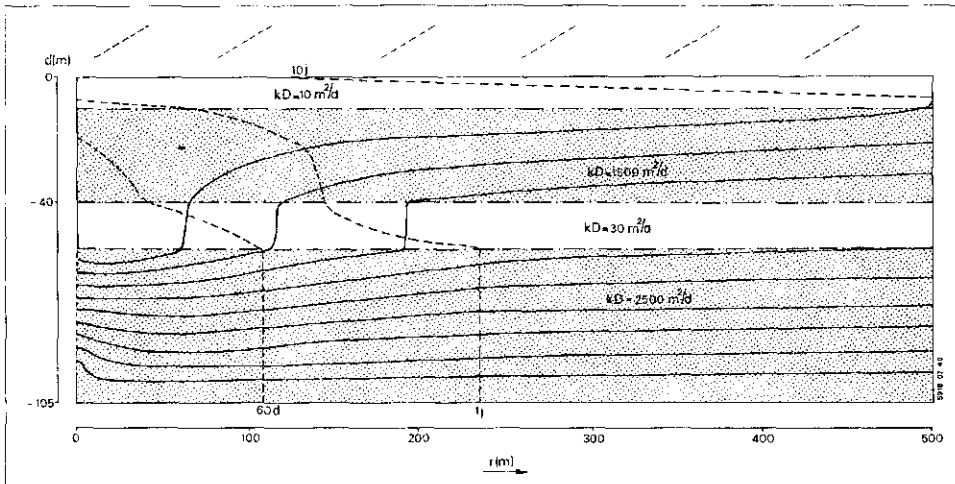
De 10-jaarischron eindigt bij de waterscheiding tussen het water dat nog juist door het 'gat' stroomt en dat, wat door de semi-permeabele laag gaat.

Bij dit voorbeeld moeten twee opmerkingen worden gemaakt. In de eerste plaats kan deze situatie alleen optreden indien via het slotenstelsel voldoende water kan worden aangevoerd om de wegzijging te compenseren.

In de tweede plaats zou er, indien in de situatie van afb. 1 een pompproef zou zijn gehouden, geen c-waarde van 500 d zijn gevonden. Door op het uit de berekeningen gevonden potentiaalbeeld de pompproefbewerking volgens De Glee toe te passen, wordt een c-waarde van ongeveer 25 d gevonden. Er kan worden berekend dat bij een homogene semi-permeabele laag met c = 25 d de 10-jaarischron in het watervoerend pakket op 270 m komt te liggen en de 25-jaarischron op 360 m.

Afb. 4 - Idem als afb. 1, nu met een onderbreking in de weerstandbiedende laag tussen 320 en 384 m.





Afb. 5 - Stroomlijnenpatroon in een tot vier lagen geschematiseerd geohydrologisch profiel, opgebouwd uit 2 fijnzandige en 2 grofzandige lagen.

Afb. 3 toont dezelfde situatie als afb. 1 echter nu met een groter 'gat' op grotere afstand van de winning (tussen 64 m en 112 m). Nu gaat hier meer dan 80 % van het te onttrekken water door en de isochronen in het watervoerend pakket liggen nog dichterbij de pompput. Echter, de waterscheiding is verder weg komen te liggen.

De c-waarde die hier uit het potentiaalbeeld kan worden berekend bedraagt 10 d. Vervolgens is nog een berekening uitgevoerd met een 'gat' op ongeveer 350 m afstand van de put (afb. 4). Nu blijken de 10- en 25-jaarischronen weer aanmerkelijk verder van de pompput te liggen. Uit het potentiaalbeeld werd een c-waarde berekend van 120 d.

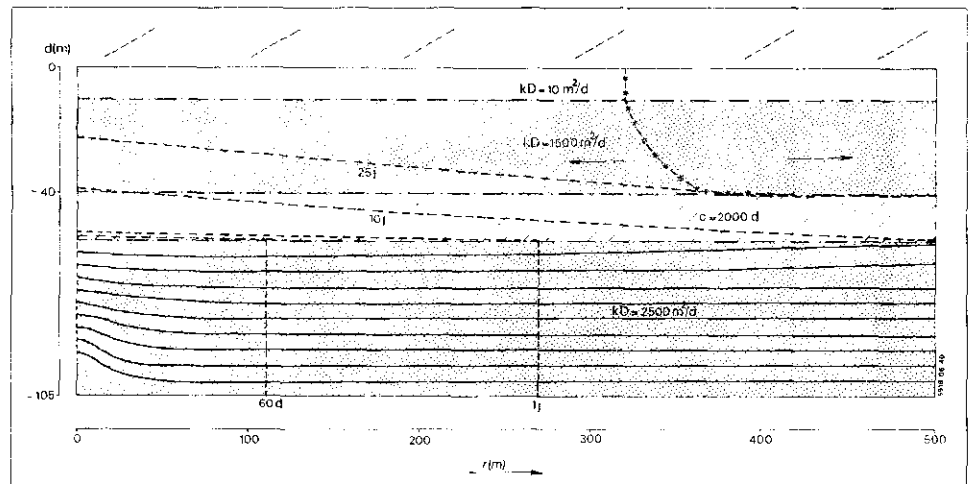
In afb. 5 is het stroomlijnenpatroon te zien in een geohydrologisch profiel dat tot 4 lagen is geschematiseerd. Uit het 2e watervoerend pakket wordt jaarlijks $3,5 \cdot 10^6$ m³ water gewonnen. Langs de bovenrand vindt een uniforme voeding van 1 mm/d plaats.

De 10- en 25-jaarischronen in het 2e watervoerend pakket vallen buiten het 500 m gebied. Er is berekend dat ze liggen op een afstand van respectievelijk 810 m en 1180 m. Opvallend is, dat tengevolge van de grotere diepte van de winning en de aanwezigheid van enkele fijnzandige lagen het snijpunt van de 10-jaarischroon met de bovenzijde van het model relatief dicht bij de winplaats ligt (op circa 120 m). Het snijpunt met de 25-jaarischroon ligt naar schatting iets verder dan 500 m verwijderd.

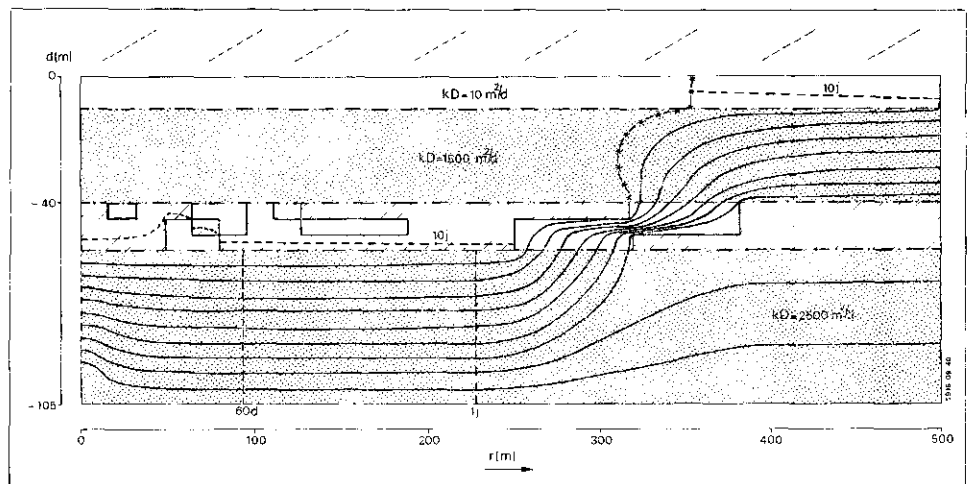
Indien de tweede fijnzandige laag wordt vervangen door een homogene weerstandbiedende laag met een c-waarde van 2000 d, dan bereiken de 10- en 25-jaarischronen de bovenrand van het model niet (afb. 6). Tengevolge van de aanwezigheid van deze laag zal zich in het eerste watervoerende

pakket een waterscheiding instellen. Het water ter rechterzijde van de scheidslijn zal gedeeltelijk op grotere afstand van de put door de semi-permeabele laag zijgen en zo via een omweg alsnog de winplaats bereiken.

Afb. 6 - Idem als afb. 5, echter de tweede fijnzandige laag is hier vervangen door een homogene weerstandbiedende laag met een c-waarde van 2000 d.



Afb. 7 - Idem als afb. 6, nu met heterogene weerstandbiedende laag.



Tenslotte is getracht om op een wijze die beter de werkelijkheid benadert, de stroming door een heterogene afdekkende laag te simuleren (afb. 7).

In een kleilaag met een k-waarde van 0,02 m/d zijn een aantal zandlenzen aanwezig (de niet-gearceerde plekken in de figuur) met een doorlaatfactor van 25 m/d. Hierbij moet weer worden bedacht, dat, gezien de aard van het model, deze zandlenzen in feite ringen rond de winplaats voorstellen.

Ruim 70 % van het onttrokken water blijkt zich via een gedeeltelijke overlapping van enkele lenzen door deze laag te wringen. De 10-jaarischroon bereikt nog juist niet de bovenrand van het model, maar de 25-jaarischroon doet dit wel, namelijk juist buiten het 500 m-gebied (naar schatting op 550 m). Uit het potentiaalbeeld kan een c-waarde van 240 d worden afgeleid met dien verstande dat niet aan alle voorwaarden van een De Glee-situatie is voldaan (geen constante potentiaal boven de semi-permeabele laag).

TABEL I - Afstanden (in m) tot het winningscentrum van de 10- en 25-jaarisochronen in het watervoerend pakket en van de snijpunten van deze lijnen met de bovenrand van het model voor de verschillende rekenvoorbeelden.

Situatie	10-jaarisochroon		25-jaarisochroon	
	in het watervoerend pakket	bovenrand van het model	in het watervoerend pakket	bovenrand van het model
Volgens afb. 1	430	100	650	350
Volgens afb. 2	270	(70)	470	180
Met homogene c = 25d	270	250	360	340
Volgens afb. 3	210	(190)	280	(190)
Met homogene c = 10d	220	210	270	260
Volgens afb. 4	380	0	(400)	420
Met homogene c = 120d	340	260	530	450
Volgens afb. 5	810	120	1180	510
Volgens afb. 6	780	0	1150	0
Volgens afb. 7	700	0	1050	550
Met homogene c = 240d	700	< 120	1050	< 500

Er wordt aangenomen dat de ligging van de 10- en 25-jaarisochronen in het watervoerend pakket in deze situatie met een heterogene semi-permeabele laag dezelfde zal zijn als in geval van een homogene laag met een c-waarde van 240 d, namelijk respectievelijk 700 m en 1050 m. De 10-jaarlijn snijdt de bovenrand van het model niet of in ieder geval binnen 120 m afstand. De 25-jaarlijn op een afstand van minder dan 500 m.

In tabel I zijn de belangrijkste resultaten van de voorgaande rekenvoorbeelden in getalvorm bijeen gezet. Voor iedere berekende situatie zijn aangegeven de afstanden tot het centrum van de winning waarop zich de 10- en 25-jaarisochronen bevinden in het watervoerend pakket en de afstanden waarop deze lijnen de bovenrand van het model snijden. Voor de gevallen, waarin sprake was van een heterogene weerstandbiedende laag die bij een pompproef een zekere c-waarde zou opleveren, zijn dezelfde cijfers vermeld, verkregen door berekeningen onder de aanname van een homogene c-laag met de betreffende c-waarde. Voor de laatstgenoemde situaties zijn de snijpunten met de bovenrand van het model zo goed mogelijk geschat. De getallen tussen haakjes gelden niet voor de eigenlijke isochronen, maar geven de ligging van de waterscheiding aan.

4. Conclusies

Een algemene conclusie die al uit vroegere berekeningen bekend was en in de voorgaande berekeningsresultaten nogmaals duidelijk is aangetoond, is de volgende:

a. De verblijftijden van het naar de winplaats toestromende water worden bepaald door:

- de omvang van de winning;
- de breedte van het beschikbare stromingsveld (bijvoorbeeld de pakketdikte of de breedte van een 'gat');
- de lengte van de af te leggen weg.

De lengte van de af te leggen weg wordt op zijn beurt weer bepaald door de ligging van het voedingsgebied ten opzichte van de winput en door de geologische situatie. Verschillen in doorlatendheden hebben geen directe invloed, aangezien bij gelijkblijvend debiet een geringere doorlatendheid van het te doorstromen bodemgedeelte gepaard gaat met een evenredige verhoging van het potentiaalverschil. Indirect is er wel een invloed, aangezien het water als gevolg van de wijziging in het potentiaalbeeld een andere weg kan kiezen (de 'weg van de minste weerstand').

Met behulp van de cijfers uit tabel I kunnen eveneens enkele globale conclusies worden geformuleerd.

b. Beschermingszônes gebaseerd op verblijftijden vanaf het maaiveld zullen altijd kleiner zijn dan zônes die zijn gebaseerd op verblijftijden in het watervoerend pakket. In veel gevallen, vooral bij diepere winningen (zie afb. 5 t/m 7), is dit verschil zelfs aanzienlijk ongeacht de aard van de bovenliggende bodemlagen.

Echter, er zijn geen algemeen geldende vuistregels voor de grootte van dit verschil op te stellen.

c. In de tabel kunnen situaties met een homogene weerstandbiedende laag en die met een heterogene weerstandbiedende laag beide met eenzelfde c-waarde, worden vergeleken met betrekking tot de afstand van de winplaats waarop de isochronen de bovenzijde van het model snijden. Dan blijkt dat in de meeste gevallen de snijpunten in de heterogene situatie dichter bij de winplaats liggen dan in de homogene situatie (v.b. 2, 3, 4). Het omgekeerde is echter mogelijk (de 25-jaarlijn in v.b. 7). Dit betekent dat het gevaarlijk is om beschermingszônes te baseren op verblijftijden vanaf het maaiveld, uitgaande van plaatselijk gevonden c-waarden, nog afgezien van de onnauwkeurigheid van de gevonden waarden.

d. Om met voldoende zekerheid te kunnen vaststellen waar een 10- of een 25-jaarisochroon het maaiveld bereikt, zal het noodzakelijk zijn om geohydrologische gegevens van een wingebied te verzamelen met een nauwkeurigheid die in de praktijk veelal niet uitvoerbaar zal zijn.

Bovenstaande conclusies pleiten sterk vóór het handhaven van de door de CBW voorgestelde berekeningsmethode, namelijk de omvang van beschermingszônes te bepalen op grond van verblijftijden in het watervoerend pakket. Dit houdt overigens niet in dat in de praktijk geen rekening zou kunnen worden gehouden met de aanwezigheid van slecht doorlatende lagen. In het rapport van de CBW wordt immers gesproken over activiteiten die *in de regel* niet toelaatbaar zijn in de beschermingszônes. Deze formulering is met opzet zo gekozen omdat hierdoor de mogelijkheid wordt geschapen om van geval tot geval, rekening houdend met de lokale geohydrologische situatie de gebruiksbeperkingen in de beschermingszônes vast te stellen.

Geraadpleegde literatuur

1. Engelen, G. B., *Algemene inleiding bij de post-akademiale cursus 'Permeabiliteit en Porositeit'*, Delft, 23-27 februari 1976.
2. Jonkman, P., *Onderzoek naar de verontreinigingsbron*. H₂O (12) 1979 nr. 7, p. 137-140.
3. Rijks Geologische dienst, *Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland*. Rijks Geologische Dienst, Haarlem, 1975, 134 pp.
4. Vries, J. J. de, *Patronen van doorlaatvermogen in Jong-Tertiaire en kwartaire sedimenten in Nederland, in samenhang met de geologische gesteldheid*. Postakademiale cursus 'Permeabiliteit en Porositeit', Delft, 23-27 februari 1976.

