

# Het vóórkomen van zout grondwater in Nederland

## Woord vooraf

De navolgende tekst is een deel van een voordracht die de auteur gehouden heeft tijdens de cursus 'Grondwaterwinning en kunstmatige aanvulling van grondwater' die in november 1987 georganiseerd werd door de Stichting Postacademiale Vorming in de Gezondheidstechniek. Er wordt een kort overzicht gegeven van een aantal gangbare theorieën over de huidige verdeling van het zoute grondwater in Nederland, die eerder in verspreide



C. MAAS  
Sectie Winplaatsonderzoek,  
KIWA Nieuwegein

publicaties verschenen. Omdat het steeds vaker voorkomt dat grondwaterwinningen te kampen krijgen met verzilting, lijkt het zinvol om dit overzicht in wat bredere kring te verspreiden.

## 1. Inleiding

Het is vanouds bekend dat het grondwater in Nederland op veel plaatsen niet zoet is, maar brak tot zout. In feite treft men op elke willekeurige plek in ons land zout grondwater aan, als men maar diep genoeg boort. Afb. 1 geeft daarvan een beeld.

Op dit kaartje is de diepteligging aangegeven van het isovlak van 150 mg chloride per liter, gerekend ten opzichte van NAP. Duidelijk blijkt dat het zoete grondwater in Nederland voorkomt als een soort trog, lopend van het zuiden naar het noordoosten. Zowel in het westen als in het oosten komt brak of zout grondwater reeds op geringe diepte voor. Afb. 8 geeft hetzelfde beeld, in de vorm van een drietal dwarsprofielen, waarin eveneens de isochloride lijn van 150 mg/l is ingetekend. Ook is de ligging aangegeven van een belangrijke slecht doorlatende laag van mariene oorsprong. De lezer wordt verzocht om daarvan alvast nota te nemen, want deze laag heeft iets te maken met de huidige verdeling van het zoute grondwater.

Het systematische onderzoek naar het voorkomen van zout grondwater is ruim honderd jaar geleden op gang gekomen, en het onderwerp past wel goed in een cursus over grondwaterwinning en kunstmatige infiltratie, want juist deze activiteiten gaven de eerste stoot tot dit onderzoek. In zijn boek 'Anderhalve eeuw hydrologisch onderzoek in Nederland' heeft De Vries boeiend beschreven hoe in

## Samenvatting

Onder geheel Nederland komt zout grondwater voor. Steeds vaker worden grondwaterbedrijven geconfronteerd met verzilting van hun bronnen. De hydroloog, die bij een verziltingsgeval geroepen wordt, staan doorgaans nauwelijks gegevens ter beschikking over het verloop van het zoutgehalte met de diepte, in de omgeving van de getroffen winningsmiddelen. Toch lukt het vaak wel om zich op grond van schaarse gegevens een redelijk beeld te vormen van het zoutwater-voorkomen, mits men een inzicht heeft in de wordingsgeschiedenis van het zoute grondwater. Dit artikel geeft een kort overzicht van theorieën daaromtrent, die in de loop der tijd in diverse publicaties in verscheidene bronnen zijn verschenen. De tekst is een onderdeel van een voordracht die gehouden is tijdens een PATO-cursus over grondwaterwinning en kunstmatige infiltratie.

de begintijd de wetenschappelijke discussies over dit onderwerp aanleiding gaven tot heftige persoonlijke conflicten.

Omstreeks de eeuwwisseling liepen de emoties zelfs zo hoog op dat de vooraanstaande hydroloog Pennink zich genoodzaakt zag om zijn ontslag te nemen als directeur van de Amsterdamse Duinwaterleiding. Driekwart eeuw later is er onvergelijkbaar veel meer bekend over de verspreiding van het zout in de ondergrond, en over de processen die daarbij een rol spelen, maar een eenduidige verklaring voor de toestand die we op dit moment in de bodem aantreffen laat nog steeds op zich wachten. Hoewel de emoties inmiddels goeddeels geluwd zijn

wil de auteur vermijden om zich in de discussie te mengen.

In dit artikel beperkt hij zich tot een min of meer historisch overzicht, waarbij hoofdzakelijk enkele inzichten behandeld worden die tot nu toe standhielden. Vele – op zichzelf interessante – gezichtspunten die weerlegd zijn komen omwille van de omvang van dit artikel niet aan bod. Wie daarin geïnteresseerd is zij verwezen naar het boek van De Vries, dat een goede literatuuropgave bevat.

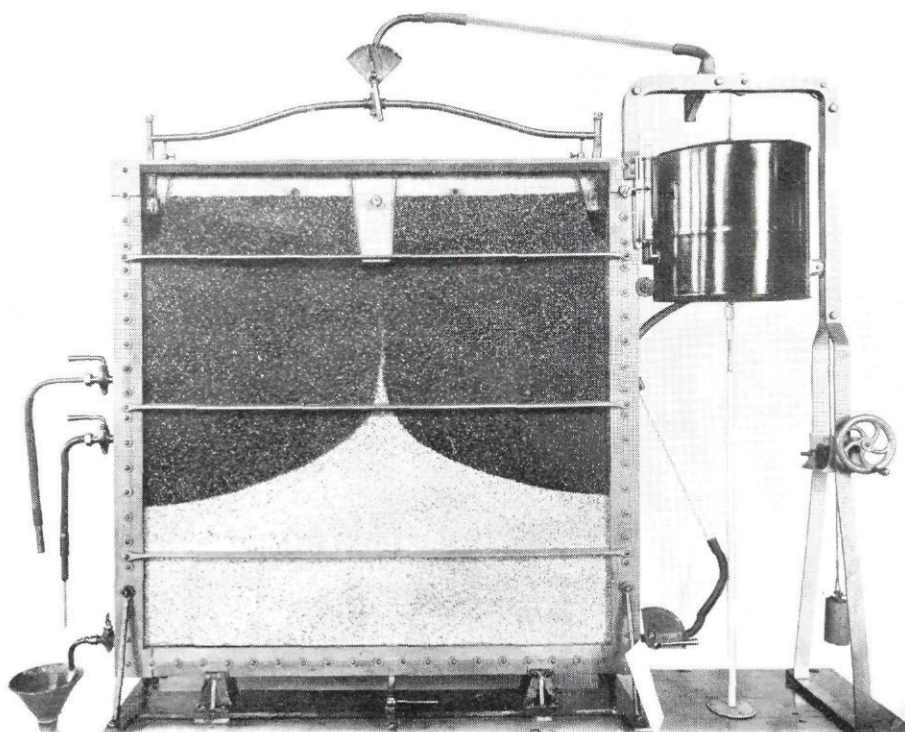
## 2. Het principe van Badon Ghijben/Herzberg (Du Commun)

De eerste steekhoudende theorie over het gelijktijdig voorkomen van zoet en zout grondwater wordt – zoals bekend –



Afb. 1 - Diepteligging van de grens tussen zoet en brak grondwater in Nederland.





Afb. 2 - Dit is een voorbeeld van een stromingsprobleem dat analytisch oplosbaar is door het principe van Badon Ghijben te combineren met de wet van Darcy. De afgebeelde proef is uitgevoerd door Pennink in 1904, toen de juistheid van het principe nog vrij algemeen betwijfeld werd. Men had vooral moeite met de gedachte dat water niet uitsluitend van boven naar beneden stroomt. De proeven van Pennink trokken internationaal aandacht. In 1904 waren de wiskundige gereedschappen geschikt om dit soort problemen op te lossen, maar waarschijnlijk kon Pennink ze nog niet hanteren [De Vries, 1982].

toegeschreven aan Badon Ghijben (1888) en aan Herzberg (1901), maar het primaat ligt bij Du Commun (1828). Het principe behelst niet meer (en Badon Ghijben deed daar ook niet gewichtig over) dan dat een lichtere vloeistof op een zwaardere kan drijven, zoals de slagroom op de melk. Tegenstanders spraken wel van de zwemtheorie [Stang, 1903].

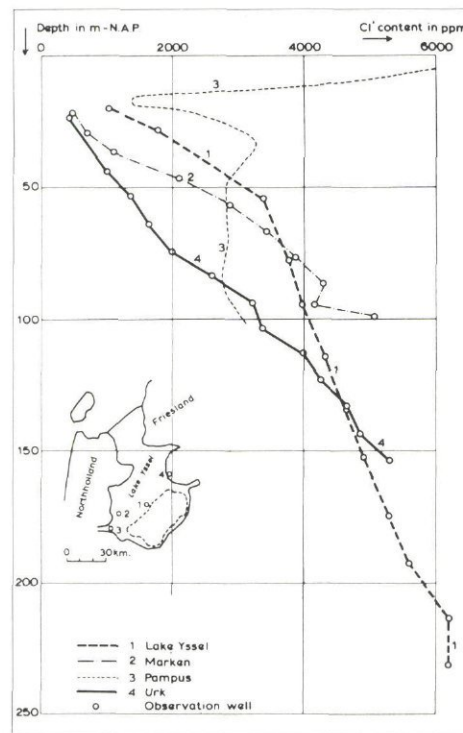
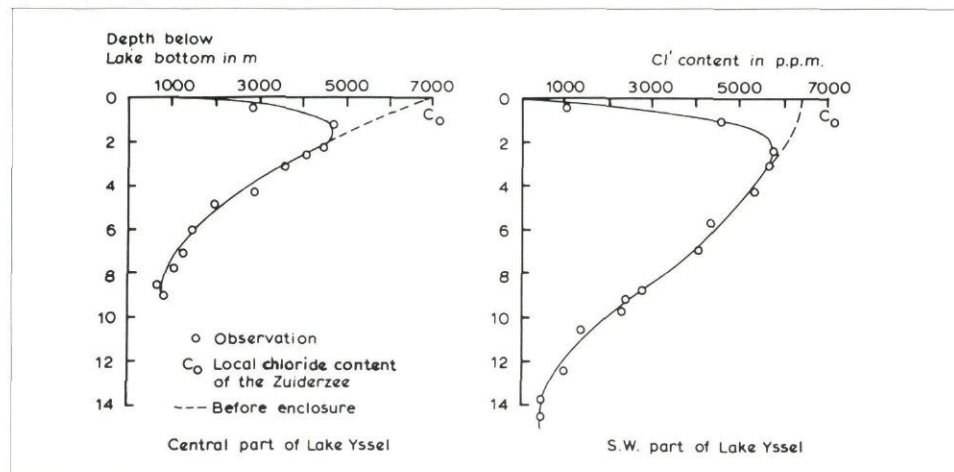
Het interessante van deze simpele wetmatigheid is dat hij in combinatie met de wet van Darcy de mogelijkheid biedt om onder zekere omstandigheden de vorm van het grensvlak tussen zoet en zout grondwater te berekenen, en daarbij stijghoogten te kwantificeren. De theorie heeft vooral goede resultaten opgeleverd in kustgebieden, met name in de duinen (afb. 2). Ook de zoetwatervoorkomens die onder meer in Zeeland onder kreekkruggen worden aangetroffen kunnen er goed mee beschreven worden. Het principe van Badon Ghijben wordt veelvuldig toegepast voor waterleidingdoeleinden, met name om na te gaan of winningsmiddelen de kans lopen om te verzilten [zie bijvoorbeeld Bear, 1979, en de daarin opgegeven literatuur]. De theorie is goed bruikbaar om bestaande situaties te simuleren, als men zeker weet dat er een 'scherp grensvlak' aanwezig is. Voor het doen van voorspellingen moet de theorie echter met

de nodige voorzichtigheid gehanteerd worden [Cooper, 1959, Cooper et al., 1964], want grensvlakken tussen zoet en zout grondwater geven altijd aanleiding tot circulatiestromingen waarmee de gebruikelijke rekenmethoden geen rekening houden [zie ook Santing, 1986].

### 3. De diffusietheorie van Volker

Scherpe grensvlakken treft men, behalve in de duinen en onder sommige kreekkruggen, in Nederland overigens nauwelijks aan. Gewoonlijk is er een geleidelijke overgang van zoet naar zout

Afb. 4 - (Overgenomen uit De Vries, 1982).

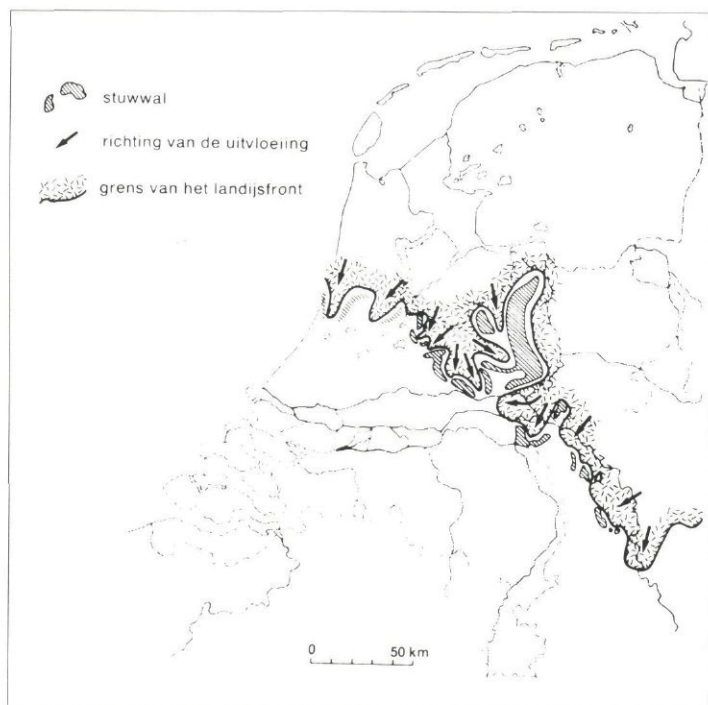


Afb. 3 - (Overgenomen uit De Vries, 1982).

grondwater, zoals in de chlorideprofielen van afb. 3.

Tijdens de drooglegging van de IJsselmeerpolders slaagde Volker [1961] erin om op tamelijk overtuigende wijze aan te tonen dat moleculaire diffusie onder bepaalde hydrologische omstandigheden een essentiële rol speelt bij het ontstaan van een geleidelijke overgang van zoet naar zout grondwater. (Met moleculaire diffusie wordt het proces aangeduid dat ervoor zorgt dat een aanvankelijk scherp grensvlak tussen twee stilstaande, mengbare vloeistoffen geleidelijk vervaagt.) Die omstandigheden deden zich gedurende lange tijd op welhaast ideale wijze voor in het werkgebied van Volker, de voormalige Zuiderzee.





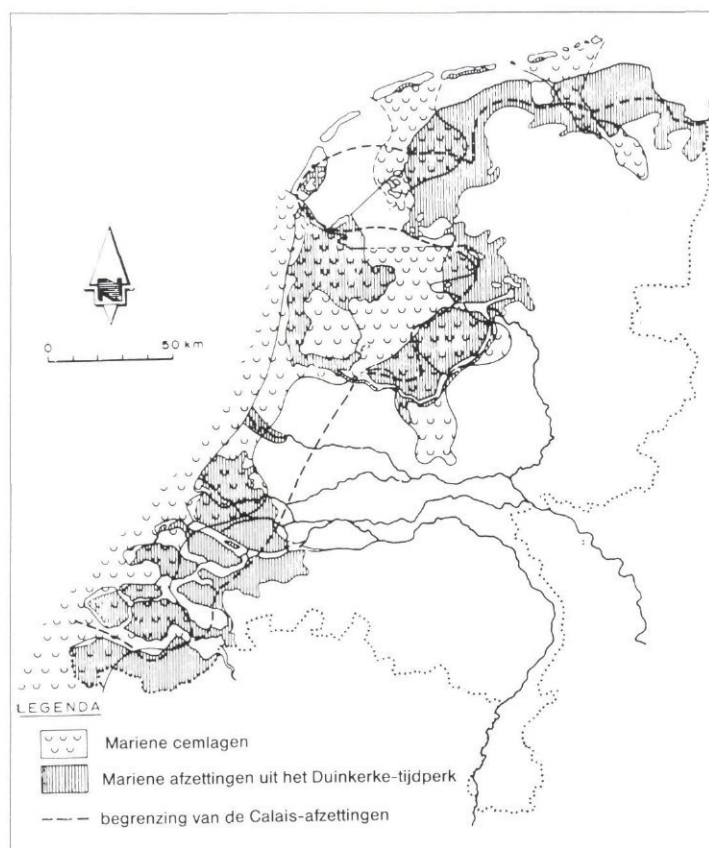
Afb. 5 - Het ontstaan van stuwwaals, en de verbreiding van het landijs in de voorlaatste ijstijd (overgenomen uit Zagwijn en Van Staalduinen, 1975).

Volker analyseerde van enkele honderden grondboringen het chlorideprofiel. Er bleek een classificatie mogelijk te zijn in vier typen, waarvan er twee in afb. 4 zijn weergegeven.

De waargenomen chlorideconcentraties kunnen als volgt verklaard worden: Toen de Zuiderzee omstreeks 1350 na Christus ontstond, bevatten de bovenste circa 15 meter van de toenmalige ondergrond volledig zoet water. Door het ontbreken van een verhang kon er na 1350 geen grondwaterstroming meer optreden. Het zoute Zuiderzeewater drong door diffusie over een aantal meters de bodem binnen. Na het gereedkomen van de Afsluitdijk in 1932 verving het zoete IJsselwater in korte tijd het zeewater, met als gevolg dat de bovenste meters van de ondergrond door hetzelfde diffusieproces verzoetten. Om deze hypothese te toetsen stelde Volker een mathematisch model op waarmee de chlorideprofielen (tot een diepte van 10 à 15 meter) zeer bevredigend nagerekend konden worden. De formules van Volker bevatten een schaalfactor, de diffusieconstante  $D$ , die experimenteel in het laboratorium bepaald werd. Opvallend genoeg bleek deze diffusieconstante voor allerlei grondsoorten dezelfde numerieke waarde te bezitten.

Zoals uit afb. 3 blijkt neemt in het IJsselmeergebied het chloridegehalte op diepten groter dan circa 15 meter weer geleidelijk toe. Ook daarvoor heeft Volker

Afb. 6 - (Overgenomen uit Meinardi, 1983).



een verklaring gegeven die gebaseerd is op moleculaire diffusie, maar hij gaf zelf al aan dat dit deel van de theorie minder trefzeker is.

#### 4. De dispersietheorie van Meinardi

Meinardi heeft een meer aannemelijke verklaring opgesteld voor het chlorideprofiel op grotere diepten. Terwijl we daarop ingaan zullen we tevens een ogenblik stilstaan bij de hydrogeologische geschiedenis van Nederland. Enigszins karikaturaal voorgesteld kan die ingedeeld worden in drie fasen:

- Een zeer langdurige periode, meer dan 2,2 miljoen jaar geleden, waarin het gehele land onder de zeespiegel lag, en waarin honderden meters dikke, hoofdzakelijk slecht water doorlatende lagen werden afgezet, die toen uiteraard zout grondwater bevatten.
- Een periode van 2 miljoen jaar waarin Nederland boven zeeniveau lag, en de grote rivieren overwegend goed doorlatende zandpakketten afzetten. Deze fase eindigde met een ijstijd waarin de noordelijke helft van het land bedekt was door landijs, en gletsjers verschillende stuwwallen vormden (afb. 5).
- Een periode van 200.000 jaar waarin de aanvoer van rivierzand nog wel doorging, maar waarin het kustgebied tweemaal door de zee overspoeld raakte (afb. 6).

Aan het einde van deze fase, die nog niet afgelopen is, ontstaan de duinen. In fase a. kon het grondwater niet stromen wegens het ontbreken van enig verhang, en wegens de overwegend slechte doorlatendheid van de afzettingen. Deze situatie veranderde radicaal in fase b. Toen de rivierafzettingen dik genoeg waren ontstond daarin een doorgaande, 'continentale' grondwaterstroming, gevoed door neerslag en rivierwater. Vroegere onderzoekers (onder andere Volker) namen aan dat daardoor de rivierafzettingen volledig zoet water bevatten, terwijl ook eventuele mariene lagen die wat minder slecht doorlatend waren uitgevallen, werden 'schoongespoeld'. Meinardi [1973, 1983] heeft aannemelijk gemaakt dat zo iets fysisch niet kan: In de vorige paragraaf zagen we reeds dat het grensvlak tussen twee stilstaande, mengbare vloeistoffen geleidelijk vervaagt. Het blijkt nu dat de intensiteit van dit mengingsproces zeer sterk toeneemt als de vloeistoffen niet stilstaan, maar stromen. Men spreekt dan van dispersie. Verruyt [1971] leverde de mathematische onderbouwing van de dispersietheorie. Meinardi onderscheidt een aantal gevallen, waarvan het navolgende in het kader van dit artikel het belangrijkste is: Als (oorspronkelijk) zoet grondwater over een slecht doorlatende basislaag stroomt,





Afb. 7 - In het gearceerde gebied ligt de overgang van zoet naar brak grondwater op een geringere diepte dan NAP - 50 m. (Naar gegevens van de Dienst Grondwaterverkenning TNO en de Rijksgeologische Dienst, zie De Vries, 1982, p 149).

langrijke infiltratiegebieden, van waaruit het grondwater in verschillende richtingen stroomt; in het westen van Nederland, dat in deze fase twee keer gedeeltelijk overspoeld raakt met zeewater, treedt gedurende lange perioden geen regionale grondwaterstroming op, terwijl in de duinen aparte grondwaterstromings-systemen ontstaan. Van een 'continentale' grondwaterstroming is geen sprake meer. Toch vond Meinardi in een aantal kleinere grondwaterstromingsstelsels voldoende aanknopingspunten om zijn hypothese te toetsen [Meinardi, 1983].

5. De infiltratiehypothese van Geirnaert

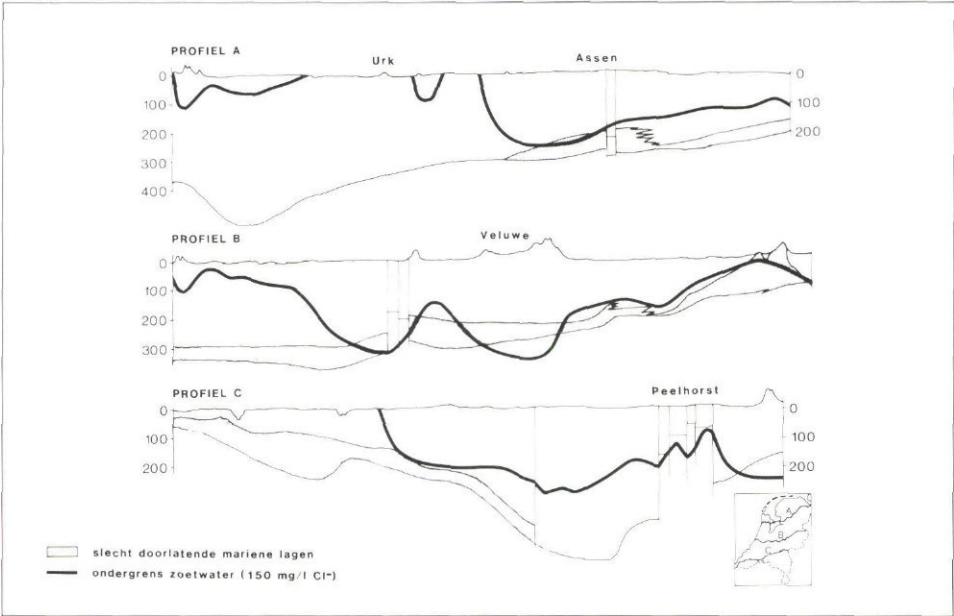
Een consequentie van de theorie van Meinardi is dat het grondwater meer naar de kust toe zouter wordt. (Het voert te ver om daar uitgebreid op in te gaan; in de aangehaalde artikelen van Meinardi is een en ander helder uiteengezet.) Inderdaad doet dit verschijnsel zich in werkelijkheid voor, zoals blijkt uit afb. 8. Geirnaert [1973] is echter van mening dat dit eerder te wijten is aan de infiltratie van zeewater tijdens de twee transgressies van de Noordzee in fase c. Hij baseert zijn mening niet alleen op chloridegehalten, maar ook op andere chemische parameters die iets zeggen over de verzilting van een relatief zoete grondwaterlaag.

Het studiegebied van Geirnaert beperkte zich tot een deel van middenwest Nederland, en men kan zich afvragen of er ook daarbuiten aanwijzingen bestaan voor een verband tussen het ondiep voorkomen van zout grondwater en de genoemde overstromingen.

die zout water bevat, dan levert de basislaag zout uit via molculaire diffusie. In de zoute basislaag zelf treedt verzoeting op, maar zeer traag (zie de diffusietheorie van Volker). Het zout dat in het stromende zoete water terecht komt dispergeert relatief snel, waardoor in betrekkelijk korte tijd een aanzienlijke overgangszone van zout naar zoet grondwater ontstaat. Het kan aangetoond worden dat er na verloop van tijd (zeg enkele duizenden jaren, dat is voor geologische begrippen snel) een schijnbare evenwichtssituatie intreedt, waarin de aanvoer van zout uit de basislaag nauwelijks meer afneemt en waarin de dikte van de overgangszone in de zoete laag vrijwel stationair wordt. Op deze wijze kunnen chlorideprofielen ontstaan die het karakter hebben van de profielen die in afb. 3 zijn weergegeven. Net zoals bij de diffusietheorie van Volker wordt het dispersieproces beheerst door een parameter, de dispersieconstante.

geheel overeenstemden met de grootteorde die Meinardi nodig had om zijn hypothese aannemelijk te maken. (Men spreekt tegenwoordig van 'macrodisperie'). Als fase c. begint is de hydrogeologische gesteldheid van Nederland beduidend ingewikkelder geworden. Enkele grotere stuwwallen gaan functioneren als be-

Afb. 8 - Geschematiseerde hydrologische profielen (naar blad VII van de Atlas van Nederland).



Toen Meinardi zijn hypothese voor het eerst toetste moest hij voor deze constante een waarde aannemen die vele malen groter was dan men op grond van laboratoriumproeven voor mogelijk hield. Gelukkig voor Meinardi kwamen juist toen de eerste meldingen van onderzoekers die de dispersieconstante in situ hadden bepaald, en waarden vonden die



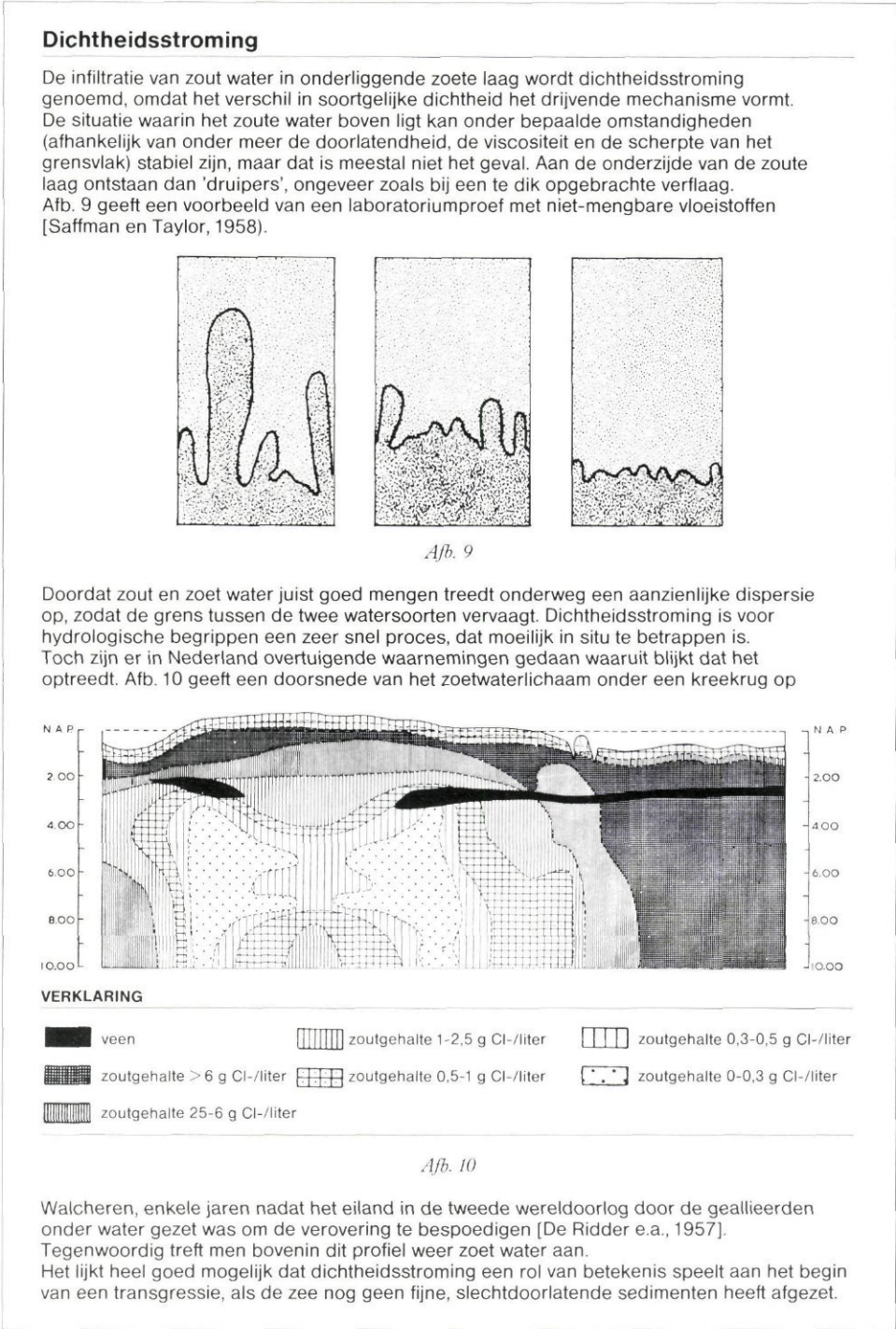
Afb. 7 geeft het gebied weer waar in Nederland de grens tussen zoet en brak grondwater (150 mg Cl-/l) op een diepte kleiner dan NAP-50 m wordt aangetroffen. De overeenkomst van dit gebied met de gebieden die tijdens de transgressies onder zeeniveau lagen (afb. 6) is zo opvallend dat de hypothese van Geirnaert niet lichtvaardig terzijde geschoven kan worden.

6. Convectief transport

Na deze vindingrijke theorieën zou men welhaast vergeten dat de gewone stroming van grondwater onder invloed van onder- of overdruk een van de belangrijkste transportmechanismen is van het zout in de ondergrond. Ter plaatse van kwelgebieden bezit het grondwater een opwaarts gerichte stromingscomponent, die ervoor zorgt dat dieper zout grondwater omhoog getransporteerd wordt. Bekend is de zoute kwel in de kustprovincies. In diepere polders ziet men vaak dat het zoute water haast tot aan het maaiveld reikt. In filtratiegebieden wordt het zoute water juist omlaag gedrukt, waardoor zoete grondwatervoorkomens ontstaan die wel wat lijken op de zoetwaterlens onder de duinen; door de voorgeschiedenis ontbreekt hier echter doorgaans de scherpe grens tussen zoet en zout. Ze worden met name aangetroffen onder rivieren en stuwheuvels (afb. 8) Langs de kust treedt onder invloed van de lage waterstanden in de polders een landinwaarts gerichte stroming van zeewater op.

7. Andere transportmechanismen

Van tijd tot tijd worden er andere transportmechanismen geopperd die een rol gespeeld kunnen hebben bij het tot stand komen van de tegenwoordige verdeling van zoet en zout grondwater, maar waarvan de betekenis moeilijk te kwantificeren is. Zo heeft Pomper [1977] een studie gewijd aan de rol van permafrost gedurende de ijstijden. Tijdens de langzame bevrozing van de ondergrond wordt het zout uit het grondwater gedreven (dissipatie). Na ontdooiing zou de voormalige permafrostzone dan ontzilt grondwater bevatten. Ook osmose duikt in de vakliteratuur af en toe op als een proces dat van invloed zou kunnen zijn. In een bijlage bij de rapporten over de PAWN-studie, waarmee Rijkswaterstaat een internationale managementprijs in de wacht sleepte, spreekt de chemicus De Haven [1982] de Nederlandse hydrologen vermanend toe omdat zij dit proces over het hoofd gezien zouden hebben. Hij acht het verschijnsel zo belangrijk dat er bij de dimensionering



van poldergemalen rekening mee gehouden moet worden. In feite is osmose reeds in de begintijd een onderwerp van discussie geweest [Herzberg, 1901, Dubois, 1904, Wingens, 1911]. De algemene opvatting is dat transport van zouten door middel van osmose wel optreedt, maar dat het effect ervan tegenover andere processen gering is. Toch is het een opvallend feit dat in sommige kustgebieden zoutgehalten voorkomen die significant hoger zijn dan het zoutgehalte van zeewater. (In het centrale deel van Walcheren, bijvoorbeeld, meer dan

20 g Cl-/l tegenover 18,5 g/l in zeewater.) Tenslotte moet opgemerkt worden dat in het zuidoosten van Nederland de tectoniek een belangrijke rol speelt bij de verplaatsing van de zoet/zout grens. Zo ligt in de Peelhorst de grens tussen zoet en brak grondwater aanzienlijk ondieper dan in de aangrenzende slenken (afb. 8).

8. Slot

Het ziet ernaar uit dat de huidige verdeling van zoet en zout grondwater in hoofdlijnen verklaarbaar is, al wijken de



theorieën op verschillende punten van elkaar af. Wellicht kan de werkelijkheid pas goed benaderd worden door alle theorieën te combineren, dat wil zeggen door gelijktijdig rekening te houden met convectief transport, dichtheidsstroming, diffusie en dispersie. Wiskundig is dat niet echt een probleem; de benodigde differentiaalvergelijking is in de vakliteratuur welbekend. Het blijft echter de vraag hoe de begin- en randvoorwaarden gekozen moeten worden om tot een particuliere oplossing te komen, dat wil zeggen: tot een formule die de tegenwoordige zoet/zout verdeling goed beschrijft.

Wetenschappelijk gezien is het vraagstuk dus nog niet opgelost. In de echter belangrijker om te weten waar het zoute grondwater zich bevindt, dan hoe het er gekomen is. Doorgaans staan de hydroloog, die bij een verziltingsprobleem geroepen wordt, nauwelijks gegevens ter beschikking over het verloop van het zoutgehalte met de diepte. De bestaande theorieën over de oorsprong van het zoute grondwater kunnen hem dan een redelijk houvast bieden om op grond van schaarse meetgegevens de verdeling van zoet en zout grondwater te reconstrueren. Zo'n gereconstrueerd beeld kan als begin-toestand gekozen worden voor kwantitatieve berekeningen.

#### Literatuur

- Bear, J. (1979). *Hydraulics of groundwater*. McGraw-Hill.
- Badon Ghijben, W., en Drabbe, J., (1888). *Nota over de voorgenomen putboring nabij Amsterdam*. - Tijdschrift van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs 1888/1889, pp 209-223
- Cooper, H. H., (1959). *A hypothesis concerning the dynamic balance of fresh water and salt water in a coastal aquifer*. Journ. Geophys. Res., Vol 64, pp 461-467.
- Cooper, H. H., Kohout, F. A., and Glover, (1964). *Seawater in Coastal Aquifers*. Geological Survey Water-Supply Paper 1613-C, U.S. Government Printing Office, Washington.
- De Haven, J. C., (1982). *Lowlands underground water as a physicochemical system. Policy Analysis of Water-management for the Netherlands*. Vol. 12, appendix C, pp 300-315. The Rand Corporation, Santa Monica.
- De Ridder, N. A., Voorthuysen, J. H. van, Grient, J. H. van der, Beltman, J. H. en Leven, J. A. van 't (1957). *Agrohydrologische profielen van Zeeland*. - Ministerie voor Landbouw, Visserij en Voedselvoorziening.
- De Vries, J. J., (1982). *Anderhalve eeuw hydrologisch onderzoek in Nederland*. Rodopi, Amsterdam.
- Dubois, E., (1904). *Etudes sur les eaux souterraines des Pays Bas*. Loosjes, Haarlem.
- Du Commun, J., (1828). *On the causes of fresh water springs, fountains &c*. Am. Journ. Sci., 1st ser., Vol. 14, pp 174-176.
- Geirnaert W., (1973). *The hydrology and hydro-chemistry of the lower Rhine fluvial plain*. Leidse Geologische Mededelingen, dl 49, Aflevering 1, pp 59-84.
- Herzberg, A., (1901). *Die Wasserversorgung einiger Nordseebäder*. Journal fuer Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 44, pp 815-819 en 842-844.
- Meinardi, C., (1973). *Het zoutwater voorkomen in de*

- ondergrond van de lage gedeelten van Nederland*. H<sub>2</sub>O (6), nr. 18, pp 454-460.
- Meinardi, C. (1983). *Fresh and brackish groundwater under coastal areas and islands*. GeoJournal 7.5 pp 413-425.
- Pennink, J. M. K., (1915). *Grondwaterstroombanen*. Stadsdrukkerij, Amsterdam.
- Pomper, A. B., (1977). *An estimation of the chloride intrusion in the midwest Netherlands during the Pleistocene epoch*. Proc. 5th Salt Water Intrusion Meeting, Medmenham, pp 114-125.
- Saffman, P. G., and Taylor, G., (1958). *The penetration of a fluid into a porous medium or Hele-Shaw cell containing a more viscous liquid*. Proc. Roy. Soc. A, Vol. 245, pp 312-329.
- Santing, G., (1986). *Circulating flow in a confined salt-groundwater body*. Proc. 9th Salt Water Intrusion Meeting, Delft, pp 73-84.
- Stang, Th., (1903). *Hand. 9e Ned. Natuur- en Geneesk. congres*, pp 427-443.
- Verruijt, A., (1971). *Steady dispersion across an interface in a porous medium*. Journal of Hydrology 14, pp 337-347.
- Volker, A., (1961). *Source of brackish groundwater in pleistocene formations beneath the Dutch polderland*. Economic Geology Vol. 56, pp 1045-1057.
- Wintgens, P., (1911). *Beitrag zu der Hydrologie von Nordholland*. Alberts, Kerkrade.
- Zagwijn, W. H. en Staaldunin, C. J. van, (1975). *Toelichting bij Geologische overzichtskaarten van Nederland*. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.



#### Diepinfiltratie in het Watervlak

##### • Slot van pagina 197

Het brakke en zoute water onder de winmiddelen vormt een risicofactor in het diepinfiltratiesysteem. Met rekenmodellen kunnen we inzicht krijgen in het gedrag van het zoute water en de brakke overgangszone. Daarbij wordt een sterke schematisatie van de bodem toegepast.

Omdat we op grotere diepte werken hebben we immers relatief weinig informatie over de bodemeigenschappen. Een nauwkeurige voorspelling van de beweging van het brakke en zoute water is mede daardoor niet goed mogelijk. Bij het ontwerp is getracht de risico's te beperken. Door middel van een uitgebreid waarnemingsnet zal nagegaan worden of we in deze opzet geslaagd zijn. In het ongunstige geval ligt de werkelijke capaciteit van het diepinfiltratiesysteem onder de ontwerp-capaciteit.

Diepinfiltratie neemt een aantal bezwaren weg die aan open infiltratie zijn verbonden. In dat opzicht is diepinfiltratie veelbelovend. Op praktijkschaal is de nieuwe techniek echter nog niet beproefd. De ervaringen met proefputten vragen om enige terughoudendheid. Bij het opstellen van (middel)lange termijnplannen voor de drinkwatervoorziening zal met deze onzekerheid rekening gehouden moeten worden.

#### Literatuur

1. Beek, C. G. E. M. van. (1982). *Regeneratie van verstopte winputten*. H<sub>2</sub>O (15), 1982, p. 370-377.
2. Brandes, M. C. (1981). *De plaats van waarnemingsfilters voor het signaleren van putverstopping*. RID-Mededeling 81-6.
3. Eem, J. P. van der. (1986). *Het ontwerpen van een lokaal waarnemingsstelsel voor grondwaterstanden en grondwaterkwaliteit - toepassing voor een diepinfiltratiesysteem*. KIWA SWE-86.017.
4. Eem, J. P. van der en Peters, J. H. (1986a). *Evaluatie van een tweetal varianten voor het diepinfiltratieproject van het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland*. Gezamenlijke uitgave van PWN-Bloemendaal en KIWA-Nieuwegein.
5. Eem, J. P. van der en Peters, J. H. (1986b). *Geohydrologische aspecten diepinfiltratie Watervlak*. KIWA SWE-86.010. (Tevens deelrapport 4.2, vergunningsaanvraag DWAT).
6. Hijnen, W. A. M. en Kooij, D. van der. (1989). *The effect of low concentrations of biodegradable compounds in water on the rate of clogging of experimental sand filters*. To be published in Water Research.
7. Kooij, D. van der, Visser, A. en Hijnen, W. A. M. (1982). *Determining the concentration of easily assimilable organic carbon in drinking water*. J. Am. Water Works Assoc. 74: 540-545.
8. Lebouille, H. M. G. (1984). *Injectieproeven in het Watervlak nabij Castricum*. Uit: Ervaren met diepinfiltratie, KIWA mededeling nr. 79.
9. Lebouille, H. M. G. (1986). *Geohydrologische inventarisatie Watervlak*. Deelrapport 3, vergunningsaanvraag DWAT. PWN OP-86/009552.
10. Olsthoorn, T. N. (1982). *Verstopping van persputten*. KIWA mededeling nr. 71.
11. Peters, J. H. (1982). *Afslakking van kwaliteitsfluctuaties door spreiding van verblijftijden bij kunstmatige infiltratie*. Bijdrage aan cursus Grondwaterwinning en kunstmatige grondwateraanvulling, Stichting Postakademiale Vorming Gezondheidstechniek, Delft.
12. Peters, J. H., Akker, C. van den en Gan, J. B. S. (1983). *Afslakking van waterkwaliteit bij persputinfiltratie*. KIWA SWE-83-017.
13. Peters, J. H. (1984). *Ervaringen met diepinfiltratie*. KIWA mededeling nr. 79.
14. Peters, J. H. en Eem, J. P. van der. (1989, in voorbereiding). *Ervaringen met diepinfiltratie II*. KIWA mededeling.
15. Schippers, J. C. en Verdouw, J. (1984). *Ontwikkeling en toepassing van de membraanfiltratie-index en de meeloopfiltratie-index*. Bijdrage aan Peters, (1984) p. 39-59.
16. Stakelbeek, A. (1988). *Diepinfiltratieproject DWAT: Ontwerp en uitgangspunten-3*. PWN OP-88/015838.

