Hydrochemische onderzoeksmethoden ter analyse van grondwaterstroming, deel 2

Voordracht van 4 november 1987 voor de cursus 'Grondwaterwinning en kunstmatige aanvulling van grondwater' van de Stichting Postacademiale Vorming Gezondheidstechniek

Belangrijke hydrologische vragen kunnen zijn: waar komt het grondwater vandaan, hoe stroomt het nu echt, is ondergrondse menging belangrijk, hoe oud is het water en hoe waren de hydrologische omstandigheden vroeger? De hydrochemie kan deze kwesties helpen oplossen en aldus zorgen voor (verdere) ijking van hydrologische modellen. Dit tweede deel geeft hiervan enkele voorbeelden uit Nederland.

Samenvatting
Richtlijnen voor een goede technische uitvoering van hydrochemisch onderzoek ter analyse van grondwaterstroming zijn in deel I (H_2O (22) 1989 nr. 5) gepresenteerd. Dit deel illustreert het nut van hydrochemisch onderzoek met voorbeelden uit Nederland. Het betreft de vaststelling van de herkomst van grondwater, de visualisering van stromingspatronen, de bepaling van mengingskarakteristieken van (grond)water-reservoirs, de datering van grondwater en herkenning van voorhistorische, hydrologische gebeurtenissen, als zoet of zout water intrusie en veranderingen in waterbalans.

P. J. STUYFZAND
KIWA NV
Afd. Winning & Bodem

3. Herkomst bepaling

Voor de Nederlandse situatie typische herkomstkwesties zijn in tabel VI gerubriceerd.
Onderscheid tussen de daar vermelde watersoorten is meestal mogelijk dankzij aanwezigheid van één of meerdere merkstoffen (tracers). Zo'n stof dient een ten opzichte van de analysefout en andere watersoort zeer markante concentratie te vertonen en zich bij bodempassage conservatief (als H_2O) te gedragen. Alleen als er chemisch evenwicht heerst dankzij voldoende langdurige doorstroming, kunnen ook zich niet-conservatief gedragende stoffen als Li, B, F, K, Rb, Mg en Sr als tracer fungeren.
Tot natuurlijke, semi-natuurlijke en niet-natuurlijke tracers worden bestanddelen van water gerekend, die respectievelijk altijd (dus ook zonder verontreiniging) in die concentratie voorkomen (bijvoorbeeld zuurstof-18, de zwaarste stabiele isotoop van zuurstof in H_2O), altijd doch in een verontreinigingsafhankelijke concentratie worden aangetroffen (bijvoorbeeld Cl) en uitsluitend ten gevolge van verontreiniging aanwezig zijn (bijvoorbeeld vluchtig organochloor).
Het gebruik van elke tracer vergt grondig onderzoek vooraf naar alle mogelijke concentratieniveau's om verkeerde conclusies te voorkomen. Een combinatie van enkele tracers is altijd aan te bevelen (afb. 5) en in geval van Br zelfs noodzakelijk (afb. 6).

4. Visualisering stromingspatronen

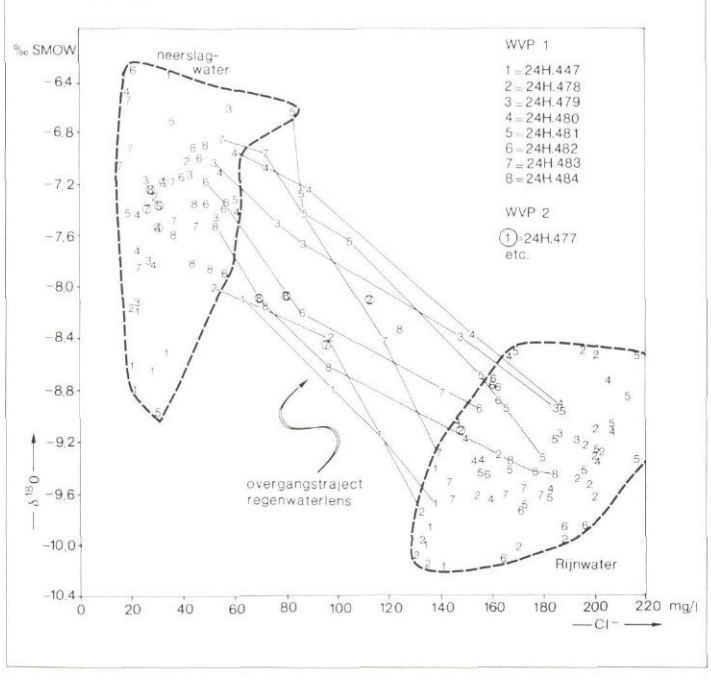
Stromingspatronen kunnen hydrochemisch gevisualiseerd worden, indien er voldoende observatiemiddelen beschikbaar zijn en indien water ergens een merkstof meekrijgt, die bij voortgaande bodempassage herkenbaar blijft. In dit geval zijn er drie typen merkstoffen:
a. een herkomstkenmerk, waarvoor verwezen zij naar paragraaf 3 en tabel VI;
b. een (bio)geochemisch kenmerk, waarbij de passage van een vegetatie of specifieke grondlaag (veen, kalkhoudende formatie, diatomeeënrijke kleilaag, etc.) de tracer oplevert; en

TABEL VI – *Typische herkomst-kwesties voor de Nederlandse situatie, met bruikbare tracers voor onderscheid. De beste tracers zijn onderstreept, tussen haakjes staan bruikbare merkstoffen alleen bij chemisch evenwicht.*

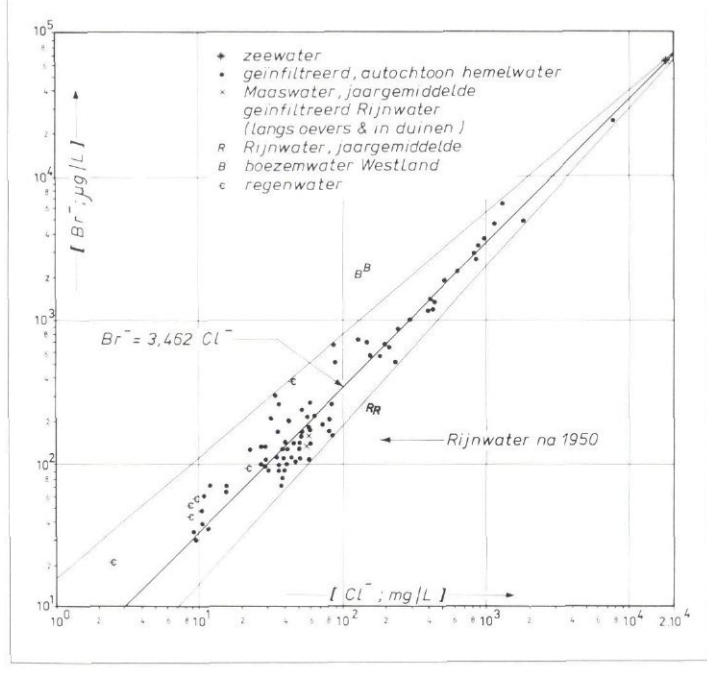
Herkomst-kwestie	Bruikbare meststoffen	Literatuur
Oevergrondwater langs Rijntakken versus autochtoon grondwater	^{18}O, ^{2}H, Br/Cl, Cl, K_{20}, (temp), (K), (Mg), (Ba), (Li/Cl), (F), (Fe/Mn)	1
Kunstmatig geïnfiltreerd Rijnwater (sinds 1955) versus duinwater	idem, excl. (Fe/Mn)	2
Kunstmatig geïnfiltreerd Maaswater (sinds 1976) versus duinwater	^{3}H, (F), (K)	3
Geïntrudeerd c.q. ingesloten Noordzeewater versus atmosferisch grondwater dat zouthorst uitloogde	^{18}O, ^{2}H, Li/Cl, Br/Cl	4

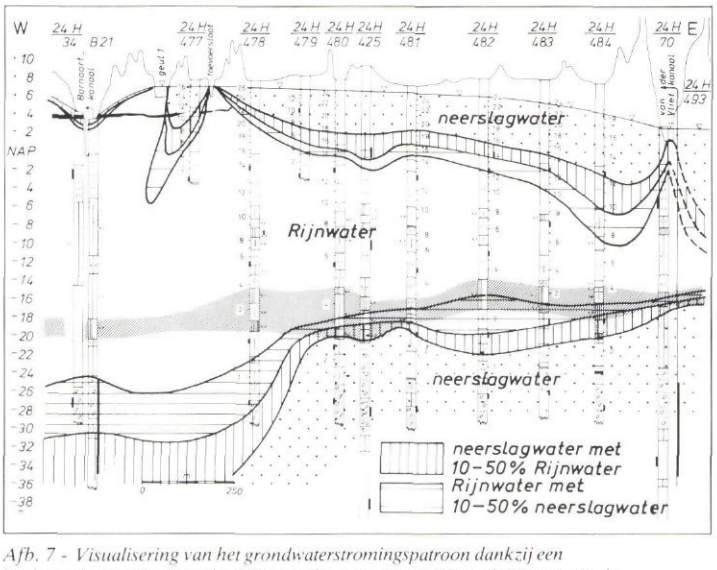
1 = Geirnaert [1973], Stuyfzand [1985b, 1987b]; 2 = Stuyfzand [1985a, 1986b]; 3 = Stuyfzand & Moberts [1987]; 4 = Rittenhouse [1967], Hahn [1972].

Afb. 5 - Zuurstof-18 – chloride diagram met meetpunten in de situatie van een regenwaterlens op zijdelings afstromend, geïnfiltreerd Rijnwater bij Gemeentewaterleidingen (naar Stuyfzand, in prep.).

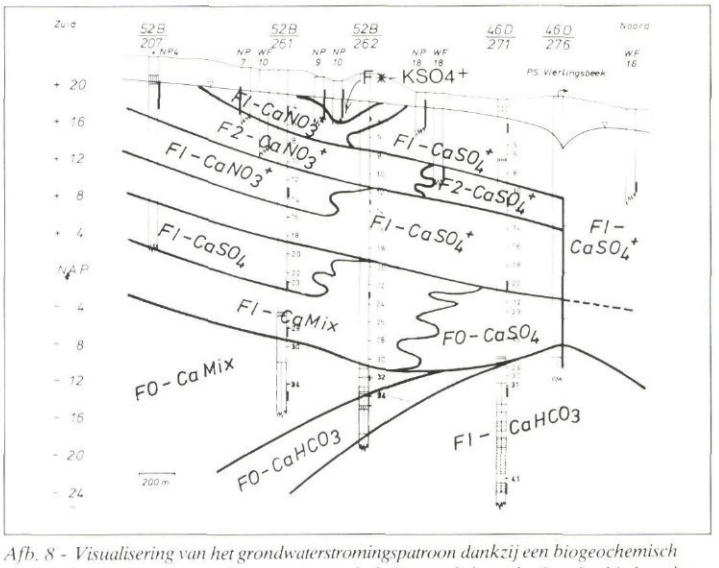


Afb. 6 - Bromide-chloride diagram met de dominante velden van belangrijke watersoorten.





Afb. 7 - Visualisering van het grondwaterstromingspatroon dankzij een herkomstkenmerk: de verbreiding van kunstmatig geïnfiltreerd Rijnwater in de Amsterdamse Waterleidingduinen (naar Stuyfzand & Stuurman, 1985).



Afb. 8 - Visualisering van het grondwaterstromingspatroon dankzij een biogeochemisch kenmerk (drijfmest) en geochemisch kenmerk (kalk): profiel over het intrekgebied van het pompstation Vierlingsbeek in Oost-Brabant (naar Stuyfzand, 1986a).

c. de temperatuur, die een specifieke waarde kan aannemen onder andere afhankelijk van het landgebruik, de diepte ondergronds en intensiteit plus richting van grondwaterstroming.
Voorbeelden uit de praktijk inclusief korte toelichting zijn weergegeven in afb. 7, 8 en 9.

5. Menging

De mengingskarakteristieken van (grondwater)reservoirs zijn hydrochemisch af te leiden uit:
a. de chemische consistentiegraad van water: een watermonster uit een minifilter met zowel zuurstof als methaan of veel tritium èn weinig koolstof-14 is zeer inconsistent en wijst op een zeer heterogeen reservoir (hoge mengingsgraad), terwijl een consistent water uit een pompput met lang filter het tegenovergestelde suggereert;
b. de mate van demping van fluctuaties in een conservatieve stof bij voortgaande bodempassage (afb. 10); en
c. de aard van het grensvlak tussen verschillende watertypen, zoals bijvoorbeeld tussen het neerslag- en Rijnwater in afb. 7.

6. Datering

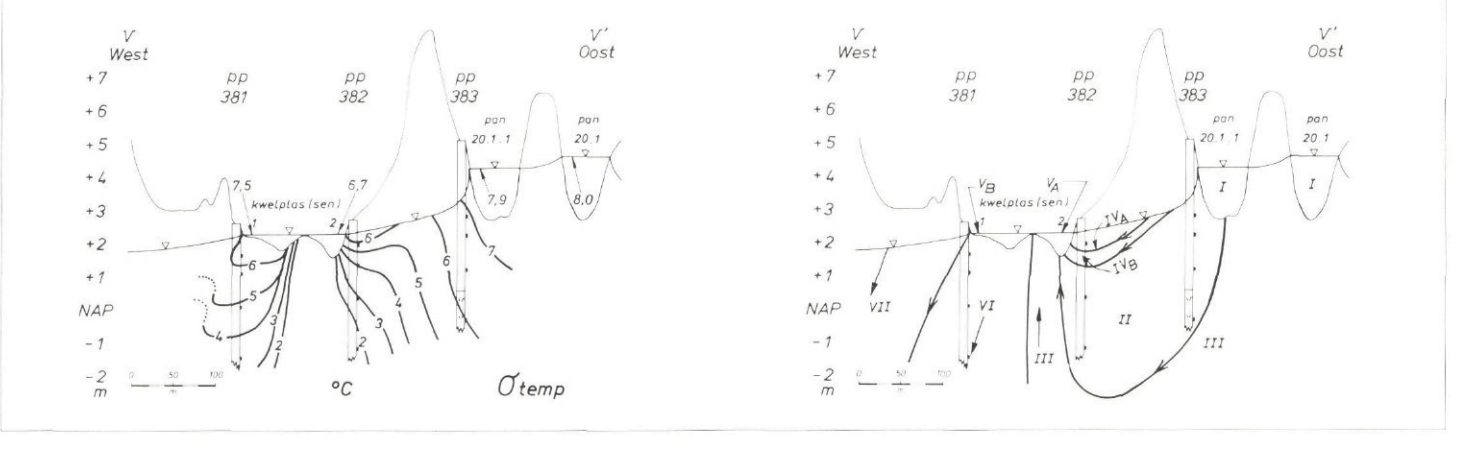
Onder de ouderdom of leeftijd van elk grondwater wordt de tijd verstaan, die verstreken is sinds het als oppervlaktewater c.q. neerslag infiltreerde. Hieruit kan de stroomsnelheid berekend worden, als de afgelegde afstand ondergronds tevens bekend is. De meest gangbare chemische dateringsmogelijkheden zijn de volgende:

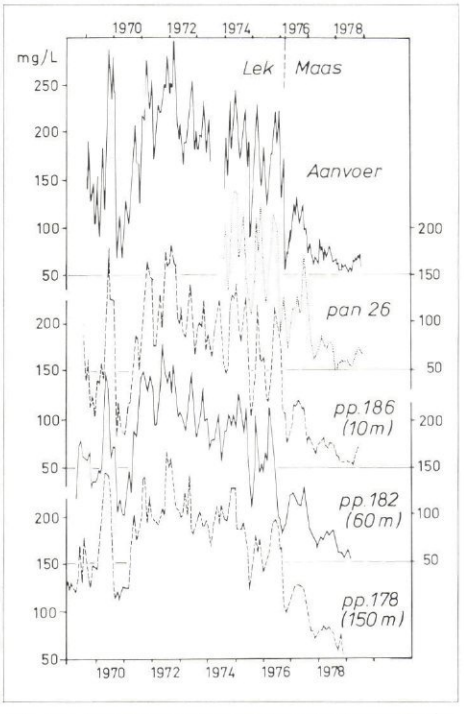
De calamiteit-respons-methode
Men zoekt in het grondwater naar de hydrochemisch detecteerbare gevolgen van een gedateerde gebeurtenis aan of nabij het maaiveld.
Dat kan de overgang van een ijstijd in een interglaciaal zijn (zichtbaar aan een toename van zuurstof-18; afb. 11), de start van kunstmatige infiltratie van Rijnwater in de duinen (afb. 12), het kappen van bos (afname chloride) of een jaar met extreme zeezout-, zuurstof-18- c.q. tritiumdepositie [Stuyfzand, 1984]. Zeer relevant is het tritium-verloop in de neerslag en het Rijnwater, met een duidelijke piek omstreeks 1963-1964 (afb. 13), die met behulp van minifilters vaak terug te vinden is (afb. 12).

De signaal-overlap-methode
Men meet de tijdverschuiving, die nodig is om de concentratiefluctuaties van een goede tracer op een bepaalde plaats in grondwater, zo goed mogelijk te passen op die in de aanvulling van het grondwater (afb. 10).

De radiometrische methode
Men meet de activiteit van beproefde radioactieve tracers met de voor het probleem geschikte halveringstijd. Tot de

Afb. 9 - Visualisering van het grondwaterstromingspatroon in en rond een kwelplas in de duinen bij Den Haag, (mede) dankzij de temperatuur (naar Stuyfzand & Moberts, 1987): seizoenfluctuaties van de temperatuur (als standaard-afwijking) en het afgeleide stromingsbeeld. Het geïnfiltreerde Maaswater (type II en III) met daarop zwak ontwikkelde regenwaterlenzen (type IV) kwelt op aan de oostzijde van de kwelplas, stroomt daarin oppervlakkig westwaarts en infiltreert aan de westzijde, leidend tot type VI.



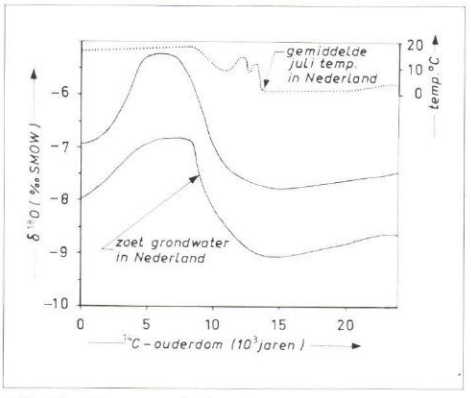


Afb. 10 - Een zeer lage mengingsgraad in duinzand volgt uit de voortplanting van Cl-golven in kunstmatig geïnfiltreerd Rijnwater, later Maaswater, bij bodempassage langs een meetraai bij Den Haag (naar Stuyfzand, 1986b). Voor de punten pan 26, pp 186, 182 en 178 is het Cl-verloop respectievelijk 2, 35, 126 en 210 dagen teruggeschoven, overeenkomstig de reistijd.

populairste radio-isotopen behoren tritium (^3H, $t\frac{1}{2}$ = 12,3 jaar) en koolstof-14 (^{14}C, $t\frac{1}{2}$ = 5730 jaar), in opgang is chloride-36 (^{36}Cl, $t\frac{1}{2} = 3{,}01.10^5$ jaar). Voor een noodzakelijke uitvoerige bespreking zij verwezen naar het handboek van Fritz & Fontes [1980, 1986] of naar het collegedictaat van Mook [1984].

7. Paleohydrologie

De hydrochemie kan bij een eerste exploratie



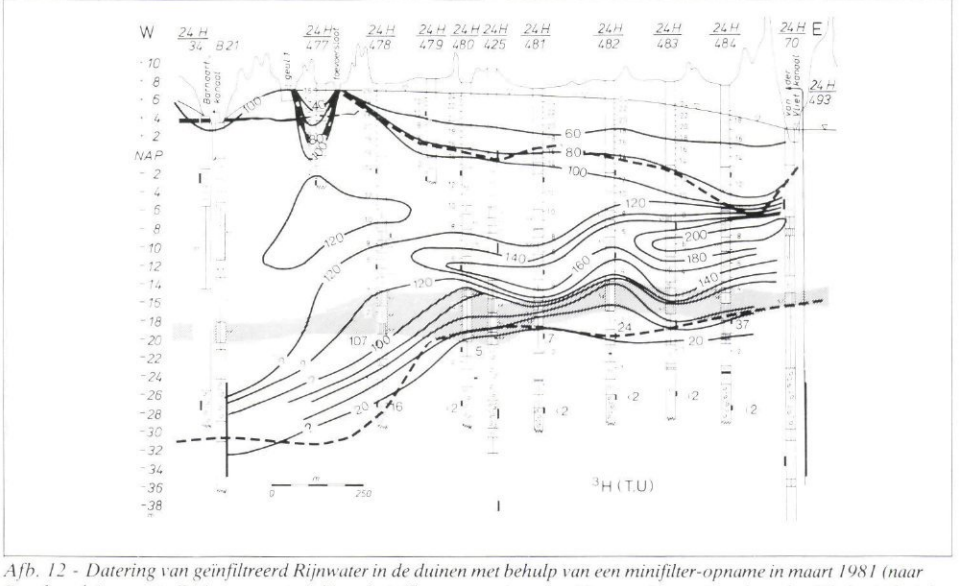
Afb. 11 - Het zuurstof-18-verloop van zoet grondwater in Nederland met autochtoon hemelwater als voeding, als functie van ^{14}C-ouderdommen en in relatie tot paleotemperaturen. Gebaseerd op analyses in Glasbergen & Mook (1982) en vele andere auteurs. Paleotemperaturen volgens Van der Hammen et al (1967).

van een grondwatervoorkomen, dus zonder tijdreeksanalyse, al als gids naar het hydrologisch verleden fungeren. In Nederland ken ik de volgende gevallen.

Verzoetings- en verziltingsverschijnselen

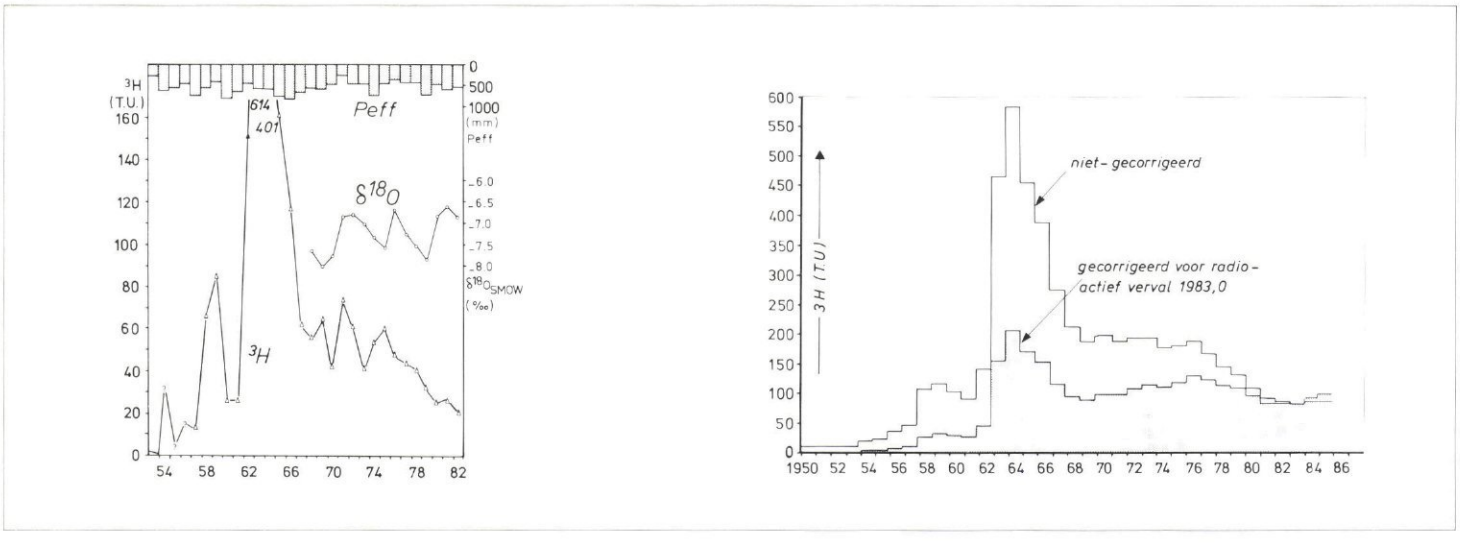
Dankzij het verschijnsel kationuitwisseling kunnen processen van verzoeting of verzilting zichtbaar zijn in de watertypering en in de parameter MCE (paragraaf 2). Een interessant voorbeeld betreft de zoetwaterbel onder de duinen bij Haarlem (afb. 14).

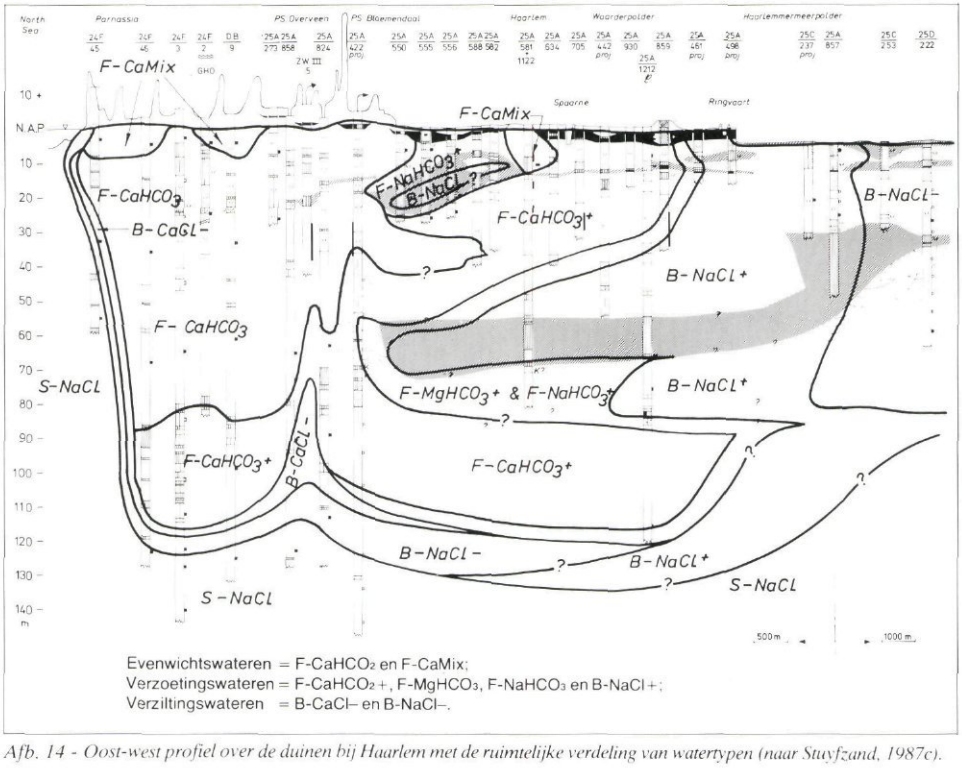
Het voorkomen van de verzoetingswatertypen F-$CaHCO_3$+, F-$MgHCO_3$+, F-$NaHCO_3$+ en B-NaCl+ aan de onderzijde van de zoetwaterbel en langs de gehele oostzijde, suggereert dat de hele ondergrond, van NAP tenminste t/m 140 m-NAP, met zoutrijker water gevuld was vóór het ontstaan



Afb. 12 - Datering van geïnfiltreerd Rijnwater in de duinen met behulp van een minifilter-opname in maart 1981 (naar Stuyfzand, in prep.). De isoconcentratielijnen betreffen ongecorrigeerde tritium-metingen. Aan de onderzijde bevindt zich Rijnwater van de start van kunstmatige infiltratie in augustus 1957 (dus 23,5 jaar oud). Het Rijnwater met tritium ~ 200 TU stamt van 1963-1965 (dus circa 17 jaar oud).

Afb. 13 - Tritium-verloop in neerslagwater te Groningen, gecorrigeerd voor radioactief verval tot 1 januari 1983 (naar Stuyfzand, 1984) en in Rijnwater te Lobith wel en niet gecorrigeerd (naar Stuyfzand, 1987b).





Afb. 14 - Oost-west profiel over de duinen bij Haarlem met de ruimtelijke verdeling van watertypen (naar Stuyfzand, 1987c).

der duinen. De markante aanwezigheid van de verziltingswatertypen B-CaCl– en B-NaCl– aan de westzijde en aan de uiterste onderzijde, impliceert een verzilting van recenter datum. De asymmetrie van de zoetwaterlens en van de verdeling van watertypen correspondeert goed met de holocene geologie, waterwinning sinds 1898 en drooglegging van het Haarlemmermeer in 1852 [Stuyfzand, 1987c].

Zoet- en brakwaterenclaves

Min of meer geïsoleerde voorkomens van zoet of brakwater temidden van respectievelijk brak of zoet water getuigen van vergane perioden van afwijkende hydrologie, alsmede meestal van stagnatie.
In afb. 14 komt een ondiepe brakwaterenclave in dikke holocene klei op circa 20 m-NAP voor en wordt verondersteld syngenetisch te zijn, dat wil zeggen relict formatiewater te betreffen. Op 60-70 m-NAP in glaciale bekkenklei onder Haarlem, komt tevens een brakwaterenclave voor. In afb. 14 is niet zichtbaar, dat het Cl-gehalte hierin hoger is dan in het omhullende water. Deze enclave zou een relict van de Eem-transgressie kunnen vormen.

Zuurstof-18-anomalieën

Onder andere in Zuid-Holland [Meinardi, 1983] en Groningen [Glasbergen & Mook, 1982] zijn in tritiumloos zoet grondwater, voor Nederland afwijkende ^{18}O-concentraties gemeten, namelijk rond –5‰ in plaats van de normale –7,6‰. Deze moeten in verband worden gebracht met een voormalige infiltratie in thans afgegraven hoogveengebied, waarbij zowel open-water verdamping optrad als oppervlakkige afvoer van winterregens [Meinardi, 1983].

8. Conclusies

De hier gepresenteerde voorbeelden mogen het grote nut van hydrochemisch onderzoek bij het oplossen van hydrologische vraagstukken voldoende onderstreept hebben. Het wordt echter gevaarlijk als de hydrochemie als onafhankelijke discipline gaat opereren. Zonder hydrologie komt men dikwijls tot hydrochemisch dwaze uitspraken, niet in de laatste plaats door de buitengewoon rijke hydrochemische variaties op onze planeet. Een goede experimentele opzet van hydrochemisch onderzoek en rapportage van die opzet zijn voor het welslagen respectievelijk overtuigen onontbeerlijk. En last but not least: Beter één betrouwbaar analyseresultaat dan tien dubieuzen.

Literatuur

Fritz, P. en Fontes, J. Ch (1980/86). *Handbook of environmental isotope geochemistry*. Vol. 1/2, The terrestrial environment, A/B, Elseviers Sci. Publ. Co., Amsterdam, 540 p/557 p.
Geirnaert, W (1973). *The hydrogeology and hydrochemistry of the lower Rhine fluvial plain*. Ph. D. Thesis, Leiden; Leidse Geol. Med. 49, p. 59-84.
Glasbergen, P. en Mook, W. G. (1982). *Natuurlijke isotopen als een hulpmiddel bij regionaal geohydrologisch onderzoek in de provincie Groningen*. H_2O (15) 26, p. 682-686, 704.
Hahn, J. (1972). *Diagnetisch bedingte Veränderungen im Chemismus intrudierter Meerwässer und ihre Beziehungen zum Chemismus von Tiefengrundwässern*. Geol. Jb. 90, p. 245-263.
Hammen, Th. van der; Maarleveld, G. C.; Vogel, J. C. en Zagwijn, W. H. (1967). *Stratigraphy, climatic succession and radiocarbon dating of the Last Glacial in the Netherlands*. Geol & Mijnb. (46), p. 79-95.
Meinardi, C. R. (1983). *De gehalten aan natuurlijke isotopen gemeten in het project 'kwaliteitsvariaties grondwater'*. RID hy. h. 83-29, 73 p.
Mook, W. G. (1984). *Principles of isotope Hydrology*. Introductory course on Isotope hydrology, Dep. Hydrology VU Amsterdam, 254 p.
Rittenhouse, G. (1967). *Bromine in oil-field waters and its use in determining possibilities of origin of these waters*. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin V51 no. 12, p. 2430-2440.
Stuyfzand, P. J. (1984). *Groundwater quality evolution in the upper aquifer of the coastal dune area of the western Netherlands*. In: Eriksson, E. (ed); Hydrochemical balances of freshwater systems; Proceedings of the Uppsala Symposium, september 1984, IAHS Publ. 150, p. 87-98.
Stuyfzand, P. J. (1985a). *Hydrochemie en hydrologie van het duingebied tussen Egmond en Wijk aan Zee*. Kaartblad 19C. KIWA SWE-85.012, 205 p.
Stuyfzand, P. J. (1985b). *Hydrologie, herkenning en datering van Rijnoevergrondwater*. Hoofdstuk 2 in KIWA Meded. 89 'Drinkwater uit oevergrondwater'. D. van der Kooy (ed.), p. 2.1-2.67.
Stuyfzand, P. J. (1986a). *Een nieuwe hydrochemische classificatie van watertypen, met Nederlandse voorbeelden van toepassing*. H_2O 19 (23), p. 562-568.
Stuyfzand, P. J. (1986b). *Macroparameters bij duininfiltratie*. KIWA-Meded. 82, 336 p.
Stuyfzand, P. J. (1987b). *Anorganische chemie van Rijnoevergrondwater uit pomppputten op diverse afstanden van de oever, in verschillende hydrogeochemische milieus*. KIWA-rapport SWE 87.005, 61 p.
Stuyfzand, P. J. (1987c). *Hydrochemie en hydrologie van duinen en aangrenzende polders tussen Zandvoort en Wijk aan Zee (kaartbladen 24F en 25A)*. KIWA-rapport SWE 86.016 203 p.
Stuyfzand, P. J. (1988). *De alkaliteit, het redoxniveau en de verontreinigingsindex als keuzemogelijkheden in een hydrochemische classificatie van watertypen*. H_2O, in druk.
Stuyfzand, P. J. (in prep.). *Kwaliteitsveranderingen van Rijnwater in de Amsterdamse Waterleidingduinen, na extreme verblijftijden*. KIWA SWE-rapport in voorbereiding.
Stuyfzand, P. J. en Moberts, F. M. L. (1987). *De bijzondere hydrologie van kwelplassen in duinen met kunstmatige infiltratie*. H_2O (20) 3, p. 52-57 en 62.
Stuyfzand, P. J. en Stuurman, R. J. (1985). *Experimenteel bewijs en modellering van een stationaire regenwaterlens op kunstmatig geïnfiltreerd oppervlaktewater*, H_2O (18), p. 408-415.

● ● ●