Natuurlijke isotopen als een hulpmiddel bij regionaal geohydrologisch onderzoek in de provincie Groningen



IR. P. GLASBERGEN
Rijksinstituut voor
Drinkwatervoorziening



PROF. DR. W. G. MOOK
Laboratorium voor
Isotopenfysica,
Rijksuniversiteit Groningen

Inleiding

Tot op heden is in Nederland bij geohydrologisch onderzoek slechts op kleine schaal gebruik gemaakt van de mogelijkheden, die het bepalen van de gehalten aan de natuurlijke isotopen biedt. In de isotopenhydrologie wordt zowel van stabiele (bijv. deuterium, koolstof 13 en zuurstof 18) als van instabiele isotopen (bijv. tritium en koolstof 14) gebruik gemaakt. Om de waarde van het isotopenonderzoek voor het regionaal geohydrologisch onderzoek na te gaan zijn een aantal putten in de provincie Groningen bemonsterd.

De keuze van het proefgebied was op Groningen gevallen omdat in deze provincie het regionaal geohydrologisch onderzoek, dat sinds het einde van 1974 plaats vindt, zich in een vergevorderd stadium bevindt. Hierdoor was het mogelijk de monsterplaatsen op hydrologische gronden te selecteren en de uitkomsten van het onderzoek deels te vergelijken met eerder verkregen resultaten van zuiver geohydrologisch onderzoek.

In de afgelopen jaren is in Nederland een aantal onderzoekresultaten waarbij tevens gebruik werd gemaakt van isotopenanalyses gepubliceerd. De analyses werden, op enkele uitzonderingen na, uitgevoerd door het Laboratorium voor Isotopenfysica van de Rijksuniversiteit Groningen, terwijl de geohydrologische interpretatie veelal door medewerkers van de Hydrologische Hoofdafdeling van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening werd uitgevoerd.

Enige eerste resultaten zijn vermeld door Vogel [1967] aan de hand van monsters afkomstig uit enkele putten op Schiermonnikoog, in zuidoost Friesland en in Flevoland. In 1974 werden door Romijn als onderdeel van het geohydrologisch onderzoek van de Veluwe conclusies getrokken inzake de ouderdom van het grondwater. In hetzelfde jaar gaf Meinardi met behulp van tritiumbepalingen een verklaring voor de zich wijzigende grondwaterkwaliteit in Oostelijk Flevoland. Verder valt de studie van deze laatste auteur [1975] te noemen naar de oorzaken van de chlorideverdeling in de ondergrond.

De isotopenanalyse van het grondwater op verschillende diepten in een put in de Gelderse vallei zijn door hem gebruikt om de op hydrologische overwegingen aangenomen stroomsnelheden op diverse diepten te verifiëren met behulp van de ouderdom van het grondwater.

Door Meinardi en Heij [1978] werden isotopenanalyses gebruikt als hulpmiddel bij het onderzoek naar de herkomst van het grondwater op het Eiland van Dordrecht. De resultaten van de chemische analyses en van het computermodel bleken volledig overeen te stemmen met de interpretatie van de isotopenanalyses.

Ook bij lokaal onderzoek is isotopenanalyse toegepast. Door Van Duijvenbooden [1979] zijn aan de hand van tritiumanalyses van het grondwater op verschillende diepten conclusies getrokken omtrent de verticale verplaatsing van een verontreinigingsfront.

Bij het geohydrologisch onderzoek kan de bepaling van natuurlijke isotopen vooral van belang zijn bij het onderzoek naar de herkomst van het grondwater. Van stabiele isotopen worden niet overal in de natuur gelijke concentraties aangetroffen omdat de fysische en chemische eigenschappen niet exact gelijk zijn. Dit komt tot uiting in verschillen in diffusiesnelheid, reactiesnelheid en bindingsenergie.

De concentraties aan radioactieve isotopen worden hoofdzakelijk bepaald door het radioactieve verval, terwijl het verschil in fysische en chemische eigenschappen een relatief gering effect heeft op de concentraties. Een praktisch voorbeeld hiervan is dat watermolekulen, die zuurstof 18 bevatten minder vluchtig zijn dan watermolekulen, die zuurstof 16 bevatten (zie bijv. Ground-Water Studies).

Grondwater afkomstig van neerslag of infiltrerend rivierwater kan zo veelal onderscheiden worden. Wanneer slechts weinig gegevens over bodemconstanten bekend zijn, kan uit de ouderdom van het grondwater een indruk verkregen worden van de stroomsnelheid en daarmee van de doorlatendheid van een watervoerende laag. Soms kunnen isotopenanalyses ook een indruk geven van andere klimatologische omstandigheden in het verleden.

De temperatuur en de aard van vegetatie op het moment van infiltratie in de bodem zijn in principe terug te vinden in de isotopensamenstelling.

Bij de interpretatie van de gehalten aan isotopen dient steeds rekening gehouden te worden met het optreden van fysisch-chemische processen in de bodem.

De isotopensamenstelling van het grondwater kan op deze wijze na infiltratie zijn veranderd [zie ook: Mook, 1979].

Eenheden

Om praktische redenen worden de gehalten van stabiele isotopen algemeen opgegeven als relatief verschil tussen de absolute verhoudingen in een monster A en de standaard S:

$$\delta_S(A) = \frac{R_A - R_S}{R_S} \; (\times 10^{3}‰)$$

Hierin is bijvoorbeeld voor koolstof 13:

$$R^{13} = \frac{^{13}C}{^{12}C}$$

Op deze wijze is de $\delta^{13}C$-waarde van een monster waarvan $^{13}C/^{12}C = 0{,}0112380$, terwijl $R_S^{13} = 0{,}0112373$, gelijk aan +0,07‰.

Voor zuurstof 18 en deuterium wordt internationaal gestandaardiseerd oceaanwater (SMOW) als referentie gebruikt.

Ook bij de radioactieve isotopen wordt gebruik gemaakt van internationale standaarden. De specifieke activiteit A van een monster is gedefinieerd als het aantal desintegraties per tijdseenheid of het aantal Curies per massa-eenheid materiaal. Het is gebruikelijk de verhouding tot een specifieke standaardactiviteit op te geven:

$$a = \frac{A}{A_S} (\times 10^{2}\%)$$

In principe is het mogelijk, wanneer de oorspronkelijke ^{14}C-activiteit bekend is, de ouderdom van het monster te berekenen, met behulp van de formule:

$$T = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \ln A^{14}/A_S^{14}, \text{ zodat:}$$

$T = -8270 \ln a^{14}/a_0^{14}$, waarin a_0^{14}, betrekking heeft op het oorspronkelijke ^{14}C-gehalte.

De halveringstijd voor ^{14}C is 5730 jaar.

Als regel is a_0^{14} 100% in recent organisch materiaal ($A_S^{14} = A_0^{14}$).

Bij gebruik voor hydrologische doeleinden wordt echter de ouderdomsbepaling gecompliceerd doordat de a_0^{14}-waarde van het oorspronkelijke water niet gelijk is aan die van de gebruikte standaard als gevolg van reacties in de bodem, m.a.w. $a_0^{14} < 100\%$.

Tritium wordt over het algemeen opgegeven in concentraties, met als eenheid de TU (Tritium Unit). TU is gelijk aan $^3H/H = 10^{-18}$.

De halveringstijd van tritium is 12,26 jaar. Ondanks deze korte halveringstijd is de atmosfeer nog steeds verontreinigd door tritium dat is vrijgekomen bij explosies van waterstofbommen in het begin van de jaren zestig. De ouderdomsbepaling wordt hierdoor bemoeilijkt; wel kan gezegd worden dat water met een lager gehalte dan het natuurlijke gehalte (5 TU) voor meer dan 95% ouder is dan circa 30 jaar. Water met een gehalte boven 100 TU moet dateren van na 1961.

Isotopen in grondwater

Bij toepassing in de geohydrologie worden de

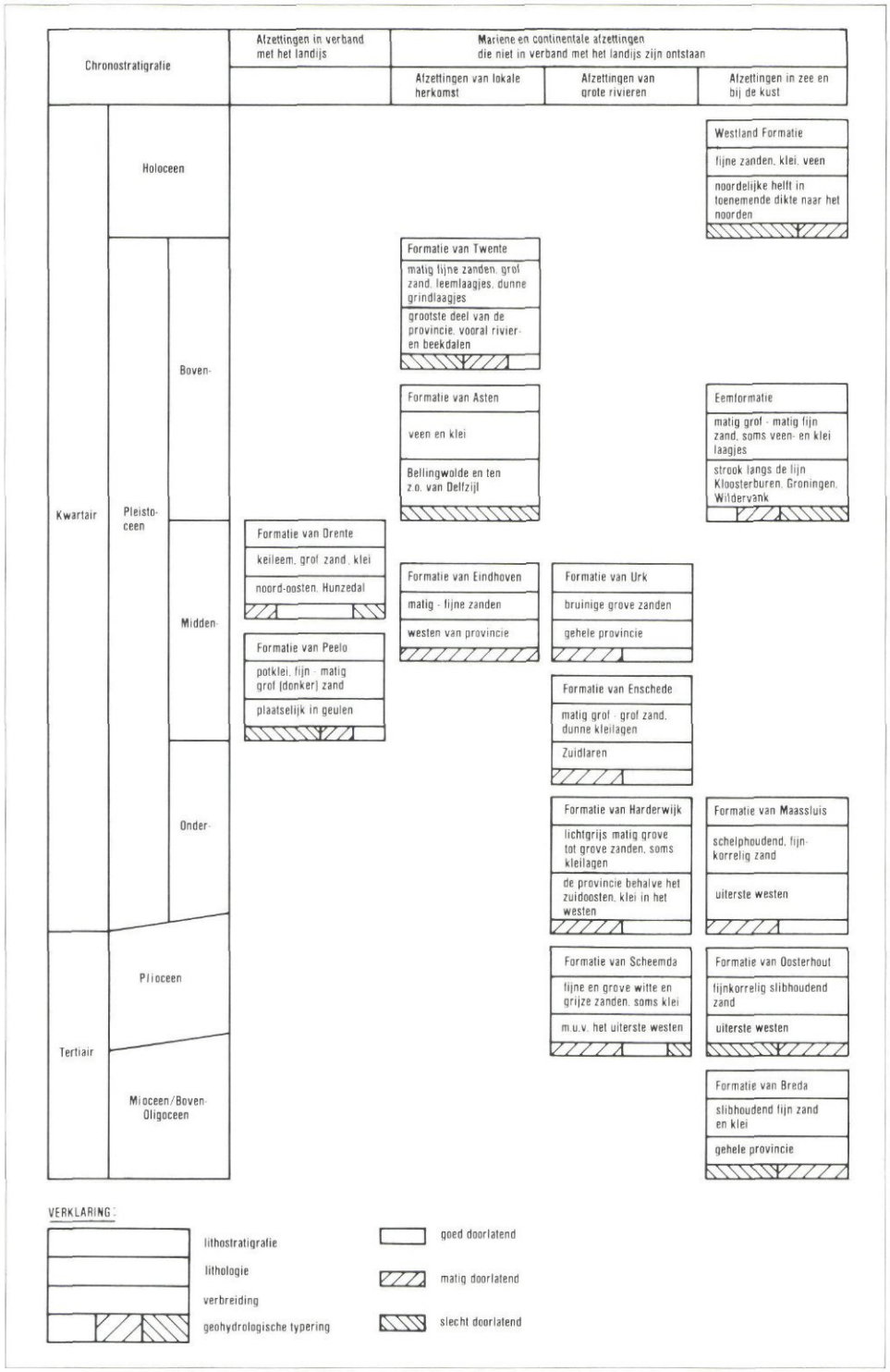
isotopenconcentraties onderling vergeleken of met de concentraties in neerslag en oppervlaktewater. Van belang is dat ^2H, ^3H en ^{18}O de bouwstenen van het watermolekuul zelf zijn, waardoor er over het algemeen geen complicerende processen optreden zoals uitwisseling of andere reakties met de omgeving.
Omdat iedere isotoop in het onderzoek zijn eigen functie heeft zullen allereerst de mogelijkheden worden behandeld die iedere afzonderlijke isotoop biedt om de gestelde vragen te beantwoorden.

^{18}O in grondwater
De mogelijkheid om uit δ^{18}-waarden de herkomst van grondwater vast te stellen veronderstelt het bekend zijn van δ^{18} van de neerslag. De δ^{18} van grondwater representeert de neerslag gedurende de perioden van de grootste neerslag.
In Nederland komt de δ^{18}-waarde van ondiep geïnfiltreerd grondwater goed overeen met die van de totale jaarlijkse neerslag.
De belangrijkste afwijkingen worden waargenomen in het rivierengebied van Midden- en West-Nederland, waar sprake is van geïnfiltreerd Rijnwater. Ook is het mogelijk dat door openwaterverdamping voor infiltratie verhoging in de δ^{18}-waarde optreedt. Dit verschijnsel is waargenomen in (semi-)aride gebieden.
Ook in brak water treden afwijkende δ^{18}-waarden op, waarbij het zoutgehalte redelijk correleert met δ^{18} volgens:

$$\delta^{18} = \frac{19{,}3\text{-Cl}}{19{,}3}\delta_f^{18},$$

waarbij Cl wordt uitgedrukt in ‰ en f duidt op zoet water. Uit de formule blijkt dat hier sprake is van menging van zoet en zout grondwater, waarbij het zoute grondwater van oorsprong zeewater is geweest.
Indien zout uit de bodem is opgelost in het grondwater moet de δ^{18}-waarde gelijk zijn aan die van zoet grondwater.
In het algemeen wordt bij grondwater-onderzoek op grote schaal gebruik gemaakt van ^{18}O-analyses om de homogeniteit van het watervoerende pakket vast te stellen.

^3H in grondwater
Naast de toepassing van tritium bij de ouderdomsbepaling van recent grondwater kan de tritiumbepaling ook aanwijzingen geven of er bij oud grondwater sprake is van menging met recent water. Dit laatste kan het geval zijn indien de klei-afdichtingen tussen de diverse filters in een waarnemingsput niet goed afsluitend werken of indien de filters niet voldoende zijn doorgespoeld, zodat er nog restanten boorspoeling aanwezig zijn.
Ter bepaling van de infiltratiesnelheid met tritium zal het nodig zijn om over een groot aantal boven elkaar geplaatste filters te beschikken. Wanneer het mogelijk is de piekwaarden van omstreeks 1963 te herkennen, kan door bijvoorbeeld jaarlijkse bemonstering de verplaatsing worden gevolgd.

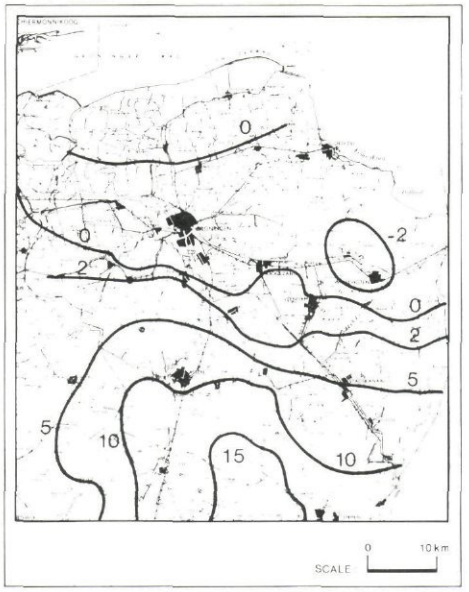


Afb. 1 - Lithologie en voorkomen van de afzettingen in Groningen.

^{13}C en ^{14}C in grondwater
De datering van grondwater met de ^{14}C methode is nog steeds een omstreden onderwerp [Isotope hydrology, 1979].
Belangrijke vragen zijn: wat is de oorsprong van de anorganische koolstof in het water en wat het ^{14}C-gehalte van het water na infiltratie. Een deel van de anorganische koolstof in de bodem is afkomstig van het oplossen van kalk door CO_2.

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-.$$

Het koolzuur is afkomstig van de ontleding van organisch materiaal in de bodem en van de worteladem-haling in de onverzadigde zone. Ook de neerslag zal CO_2 bevatten; dit



Afb. 2 - Isohypsen van het diepe watervoerende pakket op 28 maart 1978.

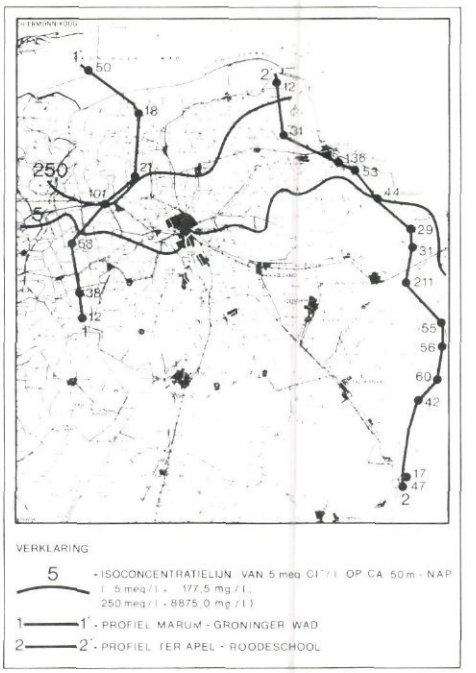
gehalte is over het algemeen zeer gering.
In de bodem kan het bicarbonaatgehalte soms toenemen door de oxydatie van veen.
Bij anaerobe ontleding van organische stof ontstaan lagere koolwaterstoffen (o.a. methaan).
Hoewel er een zeer groot aantal bronnen van anorganische opgeloste koolstof in grondwater zijn aan te geven, die de interpretatie van de ouderdom bemoeilijken, zal over het algemeen de reactie tussen koolzuur en kalk sterk overheersen.
De beste resultaten kunnen bereikt worden indien zo nauwkeurig mogelijk het a^{14}-gehalte in de bodem bij het infiltratiegebied bepaald kan worden.
De overige ouderdommen van de monsters volgen dan uit:
$T = -8270 \ln a^{14}/a^{14}$ recent.
Ook als a^{14} recent ($= a_0^{14}$) niet precies bekend is, kunnen conclusies omtrent de leeftijdsverschillen in een watervoerende laag worden afgeleid uit vergelijking van de a^{14}-waarden.

De toepasbaarheid van ^{14}C wordt begrensd tot een ouderdom van circa 30.000 jaar; daarboven zijn de gehalten te klein om nog betrouwbare uitspraken te doen. [Ground-Water Studies, 1972-1975].
Het ^{13}C-gehalte van de in het grondwater opgeloste anorganische koolstof geeft in principe uitsluitsel over de oorsprong van de koolstof. Dit is van belang, omdat ook het ^{14}C-gehalte van het juist geïnfiltreerde grondwater hiermee samenhangt.
Volgens de voorgaande reactievergelijking is ongeveer de helft van de koolstof afkomstig van CO_2 van organische oorsprong ($\delta^{13}C \approx -24‰$, $a^{14} \approx 100\%$), de andere helft van kalk ($\delta^{13}C \approx +2‰$, $a^{14} \approx 0\%$).

Op deze wijze resulteert dus grondwater met $\delta^{13}C \approx -11‰$ en $a^{14} \approx 50\%$.
Door uitwisselingsprocessen met CO_2 in de onverzadigde zone kunnen deze waarden gemakkelijk verschuiven naar $\delta^{13}C \approx -12$ à $-14‰$ en $a_0^{14} \approx 65$ à 85%.
Welke a_0^{14}-waarde moet worden aangehouden, wordt dus in principe door de $\delta^{13}C$-waarde aangegeven. De relatie is helaas niet helemaal éénduidig, omdat andere (chemische) processen veelal van invloed zijn (o.a. bijmenging fossiel zeewater en anaerobe ontleding van organisch materiaal).

De geohydrologie van Groningen

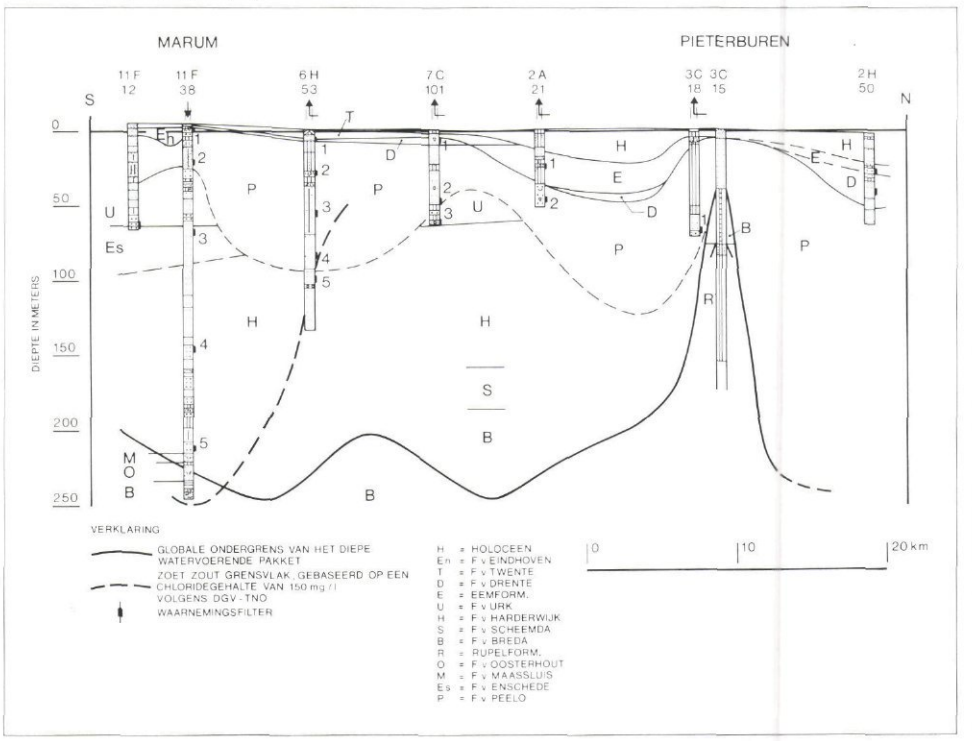
Een overzicht van de in Groningen bekende lithostratigrafische eenheden [ontleend aan Cramer et al., 1979] is in afb. 1 gegeven; hierbij is een onderverdeling gehanteerd in afzettingen die in verband staan met het landijs en afzettingen, die niet met het landijs in verband staan maar van mariene of continentale oorsprong zijn.
De grondwaterstroming vindt, wegens het over het algemeen grote doorlaatvermogen, overwegend plaats in het diepe watervoerende pakket (globaal: het Onder-Pleistoceen en het Plioceen).
De grondwaterstanden van 28 maart 1978 zijn verwerkt in een isohypsenkaart van dit pakket (afb. 2).
Uit het verhang, dat uit de isohypsenkaart volgt, en het doorlaatvermogen kan de filtersnelheid van het grondwater worden berekend. Dit vereist echter een regionale kennis van het doorlaatvermogen. In de

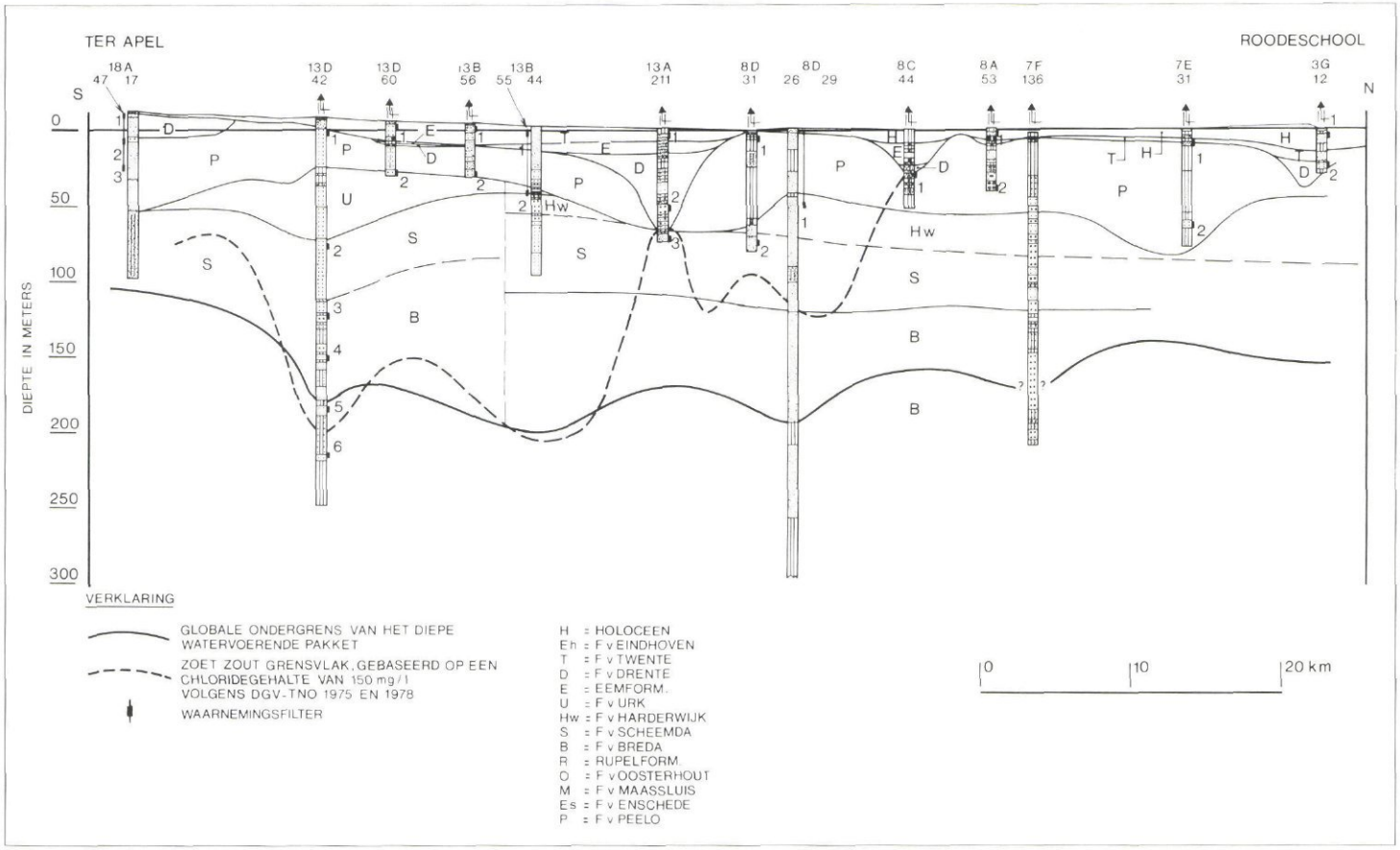


Afb. 3 - Enkele isochloridelijnen van het grondwater in Groningen.

provincie Groningen is tot nu toe slechts een gering aantal pompproeven ter bepaling van de bodemconstanten gehouden.
Bij bestudering van de grondwaterkwaliteit kan in Groningen onderscheid worden gemaakt tussen:
- infiltratiewater;
- grondwater van mariene oorsprong;
- overgangsvormen tussen de eerste twee groepen.

Afb. 4 - Geo(hydro)logisch profiel Marum-Pieterburen.





Afb. 5 - Geo(hydro)logisch profiel Ter Apel-Roodeschool.

In het diepe watervoerende pakket ligt de overgang tussen zoet en zout of brak grondwater ongeveer op de lijn Grijpskerk-Groningen-Delfzijl (afb. 3). Ten zuiden van deze overgang is in de gehele provincie nabij de basis van het diepe watervoerende pakket zout of brak water aanwezig.

Geohydrochemische profielen

Ter illustratie van de verschillen in grondwaterkwaliteit in de diepte zijn twee profielen geschetst (afb. 4 en 5). De putten waarvan de isotopenanalyses zijn uitgevoerd liggen alle op deze profiellijnen.
De resultaten van de isotopenanalyses zijn vermeld in tabel I en II. In de profielen zijn zoveel mogelijk boorbeschrijvingen getekend, waardoor de watervoerende pakketten en de slechtdoorlatende lagen kunnen worden onderscheiden.
Een uitgebreide interpretatie van de uitgevoerde isotopen-analyses aan de hand van de beide profielen is opgenomen in een RID-mededeling van dezelfde auteurs als dit artikel. In het kader van dit artikel kunnen slechts enkele opvallende waarnemingen worden aangestipt.
Met de gevonden tritiumwaarden kan vaak iets gezegd worden over het locale stromingsbeeld. Bij put 11F38 bevat zowel het filter onder als boven de daar aanwezige zeer slechtdoorlatende potklei tritium. Omdat vertikale infiltratie geen verklaring kan opleveren, gezien de korte halfwaarde tijd van tritium, moet de herkomst van het diepe water vlak buiten de niet ver naar het zuiden gelegen potkleigrens worden gezocht. Veel koolstof-14 gehalten liggen tussen 50 en 60%; dit kan duiden op een ouderdom van 3000 à 4000 jaar. Infiltratie van dit water op het Drentse Plateau is hiermee in overeenstemming.
In het noorden wordt in de zoetwaterbel bij put 7E31 een zeer laag ^{14}C gehalte gevonden (5,3%); dit duidt op een ouderdom van ruim 20.000 jaar.

Relaties tussen isotopen onderling en met de waterkwaliteit

In het voorgaande is erop gewezen dat bij ideale menging van zoet en zout grondwater er een eenvoudig verband bestaat tussen het chloride- en $\delta^{18}O$. In principe moeten de waarnemingen liggen op een lijn die begint bij $\delta^{18}O = 0‰$ en $Cl^- \approx 19000$ mg/l en die eindigt bij $Cl^- = 0$ en $\delta^{18}O = -5$ à $-9‰$, afhankelijk van temperatuur en verdamping tijdens de infiltratie. De hier genoemde onder- en bovengrens zijn af te leiden uit hetgeen bekend is over de klimaatschommelingen in Nederland [Zagwijn, 1975].
Bij een aantal hoge chloridegehalten (zie afb. 6) blijkt dit verband evenwel niet te voldoen. Hiervoor zijn verschillende verklaringen aan te geven. Storingen door in de monsters aanwezige koolwaterstoffen bij de bepaling van $\delta^{18}O$ zijn niet uit te sluiten. Ook is het mogelijk dat het chloridegehalte niet uit vermenging van zoet en zout grondwater verklaard kan worden.
In watervoerende pakketten waarin het grondwater in beweging is zal op het grensvlak van zoet en zout water dispersie optreden waardoor vermenging van beide watersoorten optreedt. In slechtdoorlatende lagen en in het algemeen bij stagnatie van grondwater zullen chloride-ionen zich van hoge naar lage concentratie bewegen (diffusie). In dit laatste geval is het mogelijk hoewel niet waarschijnlijk dat $\delta^{18}O$ zich anders gedraagt dan Cl^-. De filters, waarin het chloridegehalte sterk verhoogd is, liggen alle in gebieden met vrijwel geen horizontale grondwaterbeweging, zodat diffusie waarschijnlijk het belangrijkste proces zal zijn ter verklaring van de verhoogde chloridegehalten. Als voorbeelden kunnen worden genoemd de filters 7E31-1, 3G12-1 en 3G12-2 in noordoost Groningen en 7C101-3, 7A21-2 en 3C18 in noordwest Groningen. 6H53-5 wijkt ook af, maar dit filter ligt dieper en zuidelijker dan de overige genoemde filters.
Een andere verklaring zou ook gevonden

TABEL I – *Isotopengehalten van grondwater in Groningen, profiel Marum-Pieterburen.*

No.	$\delta^{18}O$ (‰)	$\delta^{13}C$ (‰)	a^{14} (%)	A^3 (TU)	Cl^- mg/l
11F 38-1	–7,7	– 19,7		23±2	39
-2	–3,73?	– 13,6	84,0±0,9	4,6±1,0	82
-3	–7,05	– 13,4	51,1±0,7	< 2,2	24
-4	–5,9	– 10,1	64,1±0,6	2,0±0,9	23
-5	–5,25	– 1,0	48,7±0,5	< 3,0	21
6H 53-1	–4,7	+ 3,2	54,3±0,5	2,4±0,7	33
-2	–5,5	+ 4,0	49,6±0,6	< 1,8	24
-3	–4,9	+ 3,4	48,0±0,6	< 1,2	370
-4	–0,9?	– 1,7	49,7±0,5		3800
-5	–5,9	– 12,2	27,4±0,6		11400
7C 101-1	–6,84	– 19,2		75±5	81
-2	–5,9	– 5,8	46,7±0,6	< 2,6	4400
-3	–5,2	– 13,8	57,1±0,6	1,7±0,7	9000
7A 21-1	–6,7	– 16,7		4,9±0,8	630
-2	–7,0	– 17,5	68,2±0,6	< 1,2	9600
3C 18	–8,7	– 12,8	18,5±0,7	< 2,0	11800

TABEL II – *Isotopengehalten van grondwater in Groningen, profiel Ter Apel-Roodeschool.*

No.	$\delta^{18}O$ (‰)	$\delta^{13}C$ (‰)	a^{14} (%)	A^3 (TU)	Cl^- mg/l
18A 47-1	–7,4	– 10,8		53±3	90
-2	–5,11	– 12,1	80,9±0,8	47±2	49
-3	–5,13	– 11,0	74,0±0,8	63±4	135
13D 42-1	–7,55	– 21,5			14
-2	–6,07	– 0,5	59,3±0,7	< 2,4	44
-3	–6,09	– 2,0	44,6±0,7	< 2,1	144
-4	–5,86	– 1,7	43,1±0,7		96
-5	–5,50	– 1,3	42,9±0,6	< 1,4	55
-6	–3,21	– 9,4	37,4±0,6		270
13D 60-1	–7,42	– 25,3		80±3	32
-2	–4,35	– 2,7	80,7±0,8	2,2±0,8	18
13B 56-1	–7,44	– 25,5		78±3	65
-2	–6,23	– 20,3	78,2±0,8	< 2,5	22
13B 55-1	–7,21	– 19,6			80
-2	–6,76	– 19,4	85,7±0,8	< 2,1	26
13A 211-1	–6,94	– 19,9			39
-2	–5,43	– 10,8	54,4±1,0	< 2,0	20
-3	–6,3	– 14,1	27,5±0,6	3,7±1,0	43
8D 31-1	–6,5	– 25,3			490
-2	–6,68	– 14,0	33,3±0,7	< 1,8	110
8D 29	–8,06	– 14,8	23,8±0,5	< 1,2	31
8C 44	–6,0	– 2,7	60,3±0,4	< 1,2	4600
8A 53-1	–7,9	– 16,8		52±3	1760
-2	–6,1	– 9,0?	64,0±0,5	< 1,2	3800
7E 31-1	–6,9	– 7,5?		< 1,2	7400
-2	–6,74	– 14,9	5,3±0,4	< 1,6	173
3G 12-1	–7,3	– 16,6			14000
-2	–6,1	– 8,9?	54,5±0,4	< 2,8	12900

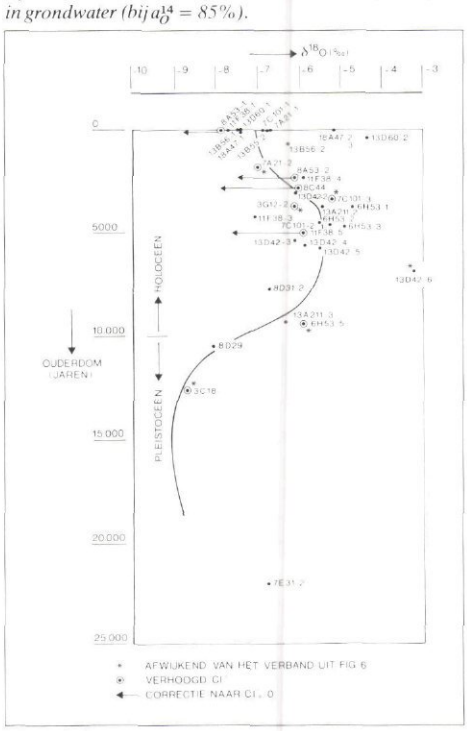
kunnen worden in de nabijheid van breuken waardoor water met sterk verhoogd zoutgehalte omhoog zou kunnen stromen onder invloed van drukverschillen.
Hierbij zou vanaf de basis van het watervoerende pakket (Formatie van Breda) diffusie ook een rol kunnen spelen.
De situering van breuken in Groningen is gepubliceerd door de Rijks Geologische Dienst [Montfrans, 1975].
Een onderzoek naar deuterium bij de genoemde filters zou een aanwijzing kunnen geven ter verklaring van dit verschijnsel.
Er is ook al op gewezen dat het $\delta^{18}O$-gehalte samenhangt met het heersende klimaat bij infiltratie. In afb. 7 zijn de $\delta^{18}O$-waarden uitgezet tegen de ouderdommen. Hierbij is gekozen voor een recente waarde $a_0^{14} = 85\%$.
Uit de grafiek blijkt, afgezien van enkele afwijkingen, dat $\delta^{18}O$ vanaf de huidige tijd gerekend oploopt bij circa 5000 jaar geleden tot waarden van ≈ –5,5‰. Daarna vindt een daling plaats, die met name rond 10.000 jaar geleden optreedt. Dit is de overgang van het Holoceen naar het Pleistoceen, die samenvalt met het einde van de laatste ijstijd.

In afb. 7 zijn de punten aangemerkt met een hoog chloridegehalte. Deze punten zijn zonder correctie van $\delta^{18}O$ voor het chloride uitgezet. Met een pijl is de verplaatsing aangegeven, die zou optreden bij een correctie, zoals uit afb. 6 kan worden afgeleid door een lijn vanuit het zeewaterpunt door het waargenomen punt te trekken naar de verticale as van de grafiek. De punten waarvan in het bovenstaande reeds was gesignaleerd, dat zij buiten de te verwachten relatie tussen $\delta^{18}O$ en Cl zijn gelegen, zijn aangegeven met een *.

Conclusies

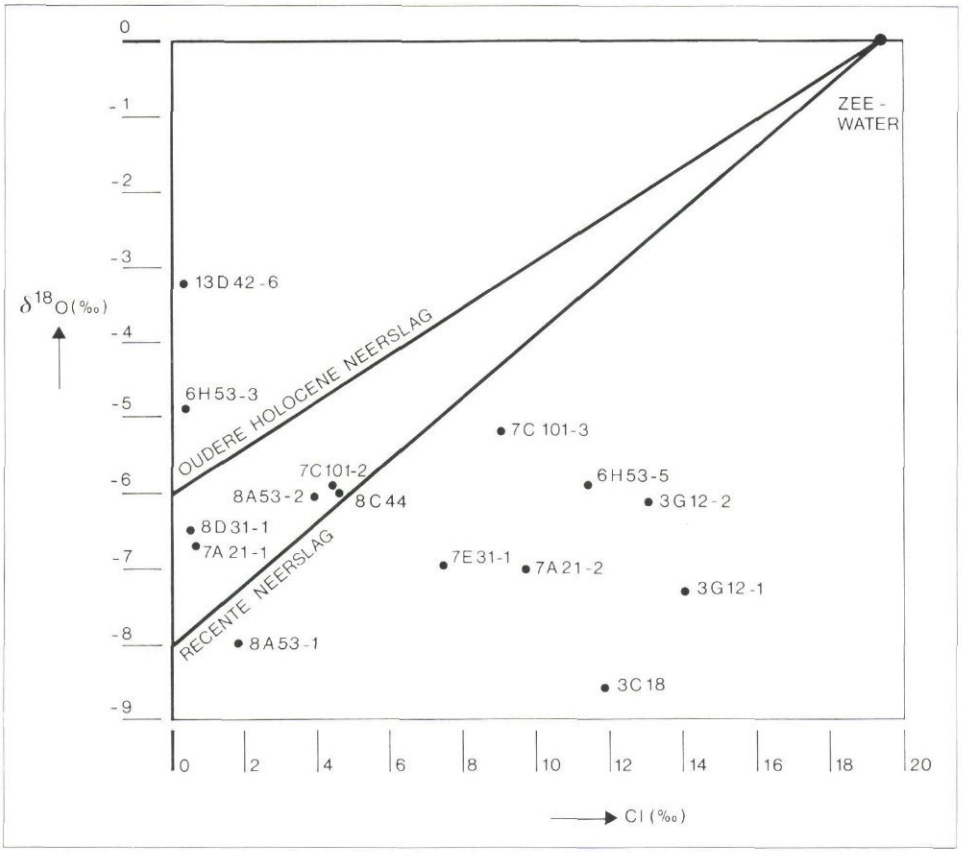
Inzicht in de stroming van grondwater zal primair verkregen worden uit de grondwaterstijghoogten en de bodemeigenschappen. Echter in gebieden waar vrijwel geen stroming optreedt kan het isotopenonderzoek waardevolle informatie opleveren over de herkomst van het water.
Een indicatie van de ouderdom kan van belang zijn bij de beoordeling van winningsmogelijkheden van grondwater in dergelijke gebieden. Met isotopenonderzoek zou kunnen worden aangetoond of hier mettertijd, afhankelijk van de onttrekkingsgrootte, toestroming van grondwater van een andere samenstelling is te verwachten.
Het tritiumonderzoek kan informatie verschaffen inzake het locale hydrologische systeem, zoals infiltratie vanuit oppervlaktewater of randstromingen bij kleivoorkomens.
Een nog verder uit te diepen aspect is de informatie inzake de kwalitatieve herkomst van het grondwater, die uit de relatie zuurstof-18/chloride kan worden afgeleid. Bij deze relatie dient de invloed van klimaatveranderingen in het verleden betrokken te worden. Er zijn aanwijzingen dat in een aantal gevallen een relatief hoog O^{18}-gehalte veroorzaakt kan zijn door infiltratie in gebieden waar een veendek aanwezig is of vroeger aanwezig was.
Bij brakwatermonsters komen verschillende malen chloride-gehalten voor, die – vergeleken met de waarden die uit het verband met O^{18} zouden volgen – te hoog zijn. Dit zou veroorzaakt kunnen zijn door

Afb. 7 - Globaal verband tussen ouderdom en zuurstof-18 in grondwater (bij $a_0^{14} = 85\%$).



• *vervolg op pagina 704*

• *vervolg van pagina 686*



Afb. 6 - Zuurstof-18 vs. chloride voor monsters met verhoogd chloridegehalte.

verschil in diffusiesnelheid. Ook andere verklaringen zijn denkbaar.
Wellicht is het mogelijk een verband te leggen met transport van water met hoge zoutgehalten omhoog door breuken naar het diepe watervoerende pakket.

Dankbetuiging
Dank is verschuldigd aan de heren Ing. G. de Jong en S. H. Jager van de Provinciale Waterstaat van Groningen voor het beschikbaar stellen van de putten van het provinciale peilbuizennet en voor het nemen van de monsters en aan de nv Waterleidingmaatschappij voor de provincie Groningen voor het beschikbaar stellen van enkele diepe waarnemingsputten. De isotopenanalyses werden uitgevoerd door H. J. Streurman en mevrouw M. H. T. Bajema.

Literatuur

Cramer W., Glasbergen, P. en Sondorp, H. (1979). *Hydrologische verkenning van de provincie Groningen.* Een beschrijving van het hydrologische regime in relatie tot de winning van grondwater. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, rapport HYH 79-14.
Duijvenbooden, W. van (1979). *Diffuse en lokale verontreinigingsbronnen en hun effekten op het grondwater.* H_2O 12: 525-529.
Ground-Water Studies. Edited by R. H. Brown et al. UNESCO, Paris 1972-1975 (Chapter 10).
Isotope hydrology 1978. Proc. int. symp. on isotope hydrology. IAEA, Vienna 1979.
Meinardi, C. R. (1974). *Tritiumbepalingen aan grondwater toegepast te Bremerberg (Oostelijk Flevoland).* H_2O 7: 274-277.
Meinardi, C. R. (1975). *Brackish groundwater bodies as a result of geological history and hydrological conditions.* RID-mededeling 75-1.
Meinardi, C. R. en Heij, G. J. (1978). *Samenstelling en stroming van zoet grondwater in een West-Nederlands poldergebied (het Eiland van Dordrecht).* RID-mededeling 78-2.
Montfrans, H. M. van (1975). Toelichting bij de ondiepe breukenkaart met diepteligging van de Formatie van Maassluis, 1:600.000. In: *Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland.* Red. W. H. Zagwijn en C. J. van Staalduinen. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
Mook, W. G. (1979). *Collegedictaat Isotopenhydrologie.* V.U. Amsterdam.
Romijn, E. (1974). *Geohydrologische inventarisatie Veluwe.* RID-rapport 74-1.
Vogel, J. C. (1967). Investigation of groundwater flow with radiocarbon. In: *Isotopes in Hydrology.* Proc. of the Symp. on Isotopes in Hydrology. Intern. Atomic Energy Agency, Vienna, p. 355-369.
Zagwijn, W. H. (1975). Indeling van het Kwartair op grond van veranderingen in vegetatie en klimaat. In: *Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland.* Red. W. H. Zagwijn en C. J. van Staalduinen. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.

• • •

Nog geen tijdschema voor Rijnzout-verdrag

De vergadering van delegatieleiders van de Internationale Rijncommissie op 9 december jl. te 's-Gravenhage over het Rijnzout-verdrag heeft niet de vaststelling van een tijdschema voor de totstandkoming van dat verdrag opgeleverd, zoals de Nederlandse regering als eis had gesteld. Minister-president Lubbers had eerder die week van zijn collega Mauroy vernomen dat de Franse regering de politieke wil had om het Rijnzout-verdrag in maart aanstaande door de Franse Assemblée Nationale te laten goedkeuren. Premier Lubbers zei toen zich in de zaak vastgebeten te hebben en het probleem niet meer los te laten. Zijn ferme taal vóór de conferentie was misschien wel meer voor export bedoeld dan voor het thuisfront.
Nu, de Fransen zijn er niet van onder de indruk geraakt, want ter vergadering wilde men geen tijdschema opstellen. Onder andere omdat het jaar 1980, dat nog genoemd wordt in het in 1976 ondertekende verdrag, aangepast moet worden en daarvóór moeten nu weer juristen in januari aanstaande bij elkaar komen. Voorts is het deskundigenrapport over de diepinjectie, dat overigens al in juli jl. gereed was, doch nog maar kort geleden werd gepubliceerd, niet op tijd in Duitse vertaling gereedgekomen. Vandaar dat uitstel van de vaststelling van het tijdschema.
Na de gemeenteraadsverkiezingen in maart aanstaande komen de delegatieleiders weer bijeen.
De voorzitter van de Nederlandse delegatie, mr. J. G. v. d. Tas, had zijn eigen tijdschema gemaakt, dat uiteraard niet méér betekenis had dan wishfull thinking. Die berekening droeg hij ter persconferentie met veel verve voor.
Wanneer Frankrijk het verdrag op 1 augustus 1983 zou hebben goedgekeurd, kan het verdrag op 1 oktober 1983 in werking gaan. Dan zou uiterlijk anderhalf jaar later die eerste terughouding van 20 kg/s chloride bereikt kunnen worden en weer vier jaar later de in het verdrag voorziene 60 kg/s chloride.
In het Rijnzout-verdrag wordt niet aangegeven hoe Frankrijk die 20 resp. 60 kg/s chloride moet opslaan. Tot voor kort werden diepinjectie genoemd en gebruik in een zoutfabriek in de Elzas. Over dat laatste schijnt wel een rapport te zijn, maar over die fabriek is tijdens de vergadering van 9 december jl. niet meer gesproken.
Overigens geven uitspraken van Elzasser politici in de pers niet de indruk, dat de oppositie tegen het diepinjectie-plan in de Elzas is bezworen door het deskundigen-rapport. Men blijft het plan verwerpen en blijft om werkgelegenheid roepen. De Franse regering zal daar nog iets op moeten verzinnen om het Rijnzout-verdrag ongeschonden door de Assemblée te krijgen. Die mag dan wel in meerderheid op de hand van de regering zijn, de senaat is dat niet. En die moet ook nog instemming betuigen.
Minister-president Lubbers, die eerder had gezegd zijn tanden in deze zaak te hebben gezet, toonde zich over het negatieve resultaat van de Haagse conferentie niet teleurgesteld. Hij had niet veel meer verwacht. Maar we moeten die mensen wel achter hun broek blijven zitten, zei hij. Als hij zijn tanden niet kapot bijt op die Franse broeken . . .