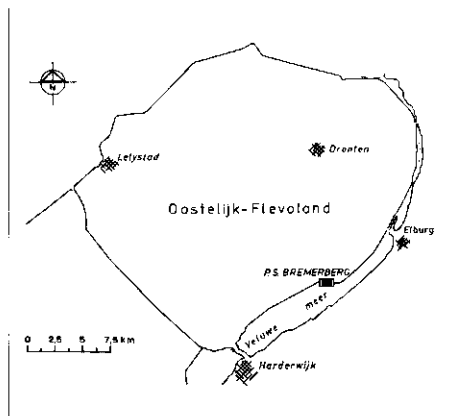


# Tritiumbepalingen aan grondwater toegepast te Bremerberg (Oostelijk Flevoland)

## Probleemstelling

Vanaf 1962 wordt aan het pompstation Bremerberg, gelegen in Oostelijk Flevoland, grondwater onttrokken ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening van deze nieuwe polder. De situering van dit pompstation, dat beheerd wordt door de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, is aangegeven op afbeelding 1, terwijl de plaats van de diverse pomp- en waarnemingsputten is weergegeven op afb. 2. De filters van de pompputten zijn gesteld op een diepte van ca. 60 à 90 m beneden



Afb. 1 - De plaats van het pompstation Bremerberg.



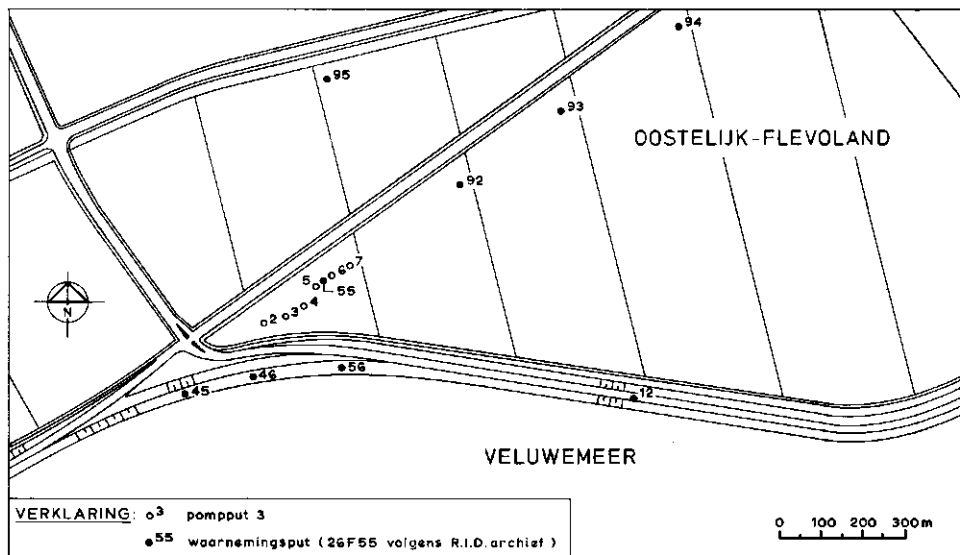
IR. C. R. MEINARDI  
Rijksinstituut voor  
Drinkwatervoorziening,  
Den Haag

NAP. Het grondwater wordt onttrokken aan een grofzandig pakket dat aan de bovenzijde (op ca. NAP - 20 m) wordt afgedekt door de mariene Eemkleilaag. Hierboven is zowel onder het Veluwemeer als in de polder nog een tweede (dunne) kleilaag van recente datum aanwezig, die echter op meerdere plaatsen is doorbroken. Voordat Oostelijk Flevoland ingepolderd en afgemalen werd (in 1957) en dus ook voordat het pompstation in gebruik werd genomen, stroomde zoet grondwater van de Veluwe af in ongeveer noordwestelijke richting en kwelde door de Eemkleilaag en de erboven gelegen pakketten op in het IJsselmeer (daarvoor in de Zuiderzee). Het hing van de afdekkende werking van zowel de Eemkleilaag als de kleilaag op de bodem van het meer af tot op welke afstand vanuit de kust deze opkweiling nog plaatsvond. In verdergelegen gebieden, die niet meer door het afstromende Veluwater worden bereikt, wordt brak grondwater aangetroffen. Dit was echter te Bremerberg niet het geval. Bremerberg lag binnen het gebied van afstroming van het Veluwater; het grondwater is hier zoet tot op grote diepte (meer dan NAP - 200 m) en tot op een afstand van 1,5 à 2 km. De kwaliteit van het opgepompte grondwater was in de aanvang dan ook zeer goed ('Veluwe-kwaliteit').

In de jaren 1969 en 1970 bleek echter dat zowel het chloridegehalte als de hardheid en het ijzergehalte in de bestaande putten aanzienlijk waren toegenomen, terwijl de kwaliteit in de later geboorde pompputten 5 en 6 nog slechter was. De chemische samenstelling van het grondwater, dat aangetroffen werd in de in 1971 geboorde pompput 7 was zelfs ronduit slecht te noemen (zie tabel I).

Deze feiten waren voor de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders en zijn adviseur inzake drinkwateraangelegenheden, het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, verontrustend, daar een afdoende verklaring hiervoor ontbrak; de kans bestond dat de verslechtering te wijten was aan het aantrekken van water uit één of ander 'zoutwaterlichaam' in de ondergrond. Het is bekend dat in een dergelijk geval vaak binnen vrij korte tijd een zodanige verhoging van het chloridegehalte van het opgepompte grondwater kan optreden dat het onbruikbaar wordt als drinkwater. Reeds spoedig werd duidelijk dat de bron van het slechtere water niet gezocht kon worden in de door eerder onderzoek bekende zoutwater voorkomens op grote diepte of op enige afstand. De eerste mogelijkheid is onwaarschijnlijk vanwege de omstandigheid, dat het bemalen pakket aan de onderzijde wordt afgesloten door een dikke kleilaag op ca. NAP - 180 m waaronder zich steeds zoet grondwater heeft bevonden en ook nu nog bevindt. De tweede mogelijkheid is onwaarschijnlijk

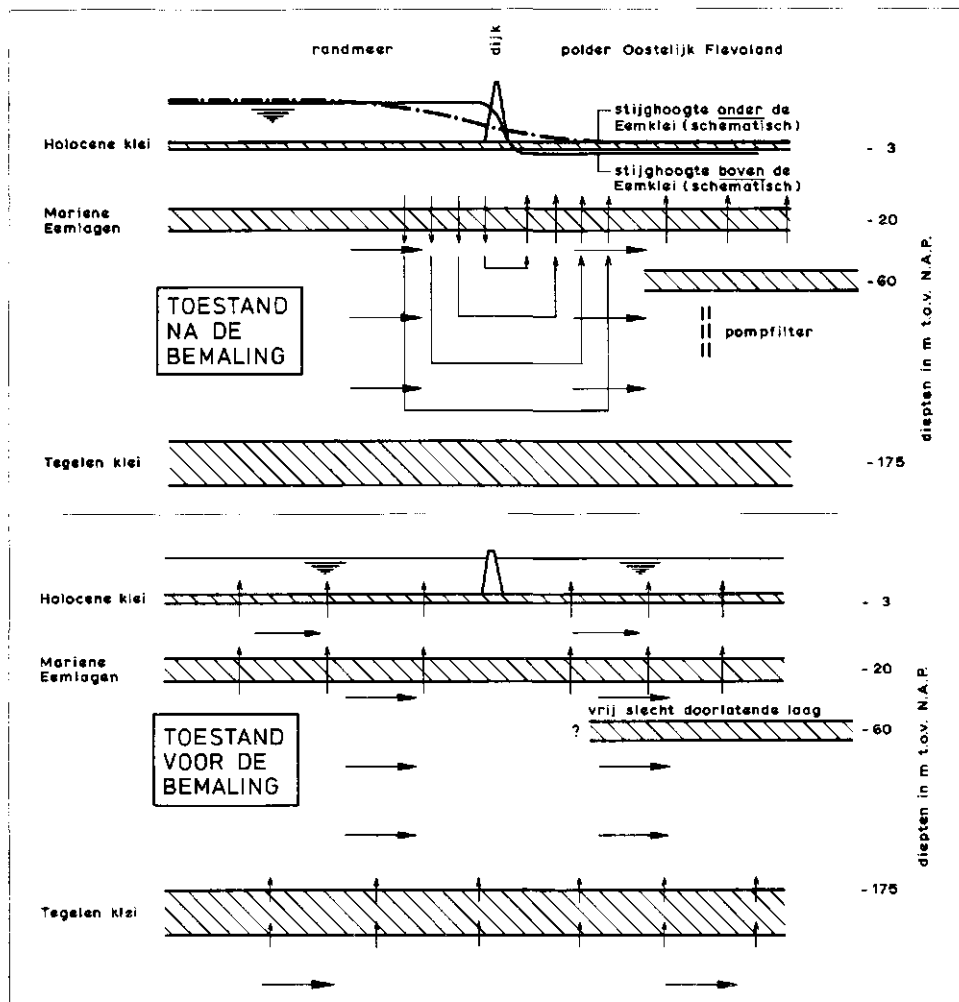
Afb. 2 - De ligging van de putten op de waterwinplaats.



TABEL I - Enige parameters van het te Bremerberg in 1963 - 1964 en in 1970 - 1971 aangetroffen grondwater.

boringnr. en (filterdiepte in NAP-m)	datum van monstername	Cl-gehalte in mg/l	SO <sub>4</sub> -gehalte in mg/l	HCO <sub>3</sub> -gehalte in mg/l	hardheid in °D	ijzergehalte in mg/l	agressiviteit
46 (20-21)	22- 7-1970	130	29	113	15,1	0,96	+
46 (46-47)	22- 7-1970	27	18	119	6,4	1,4	(+)
56 (76-77)	21- 7-1970	17	17	95	4,8	2,8	+
56 (11-12)	7-12-1970	104	25	134	8,9	1,7	(+)
56 (18-19)	7-12-1970	78	21	134	5,7	1,3	(+)
pp2	20- 1-1964	15	10	98	4,1	2,5	(+)
id.	23-11-1970	39	23	98	6,5	3,3	+
pp3	21- 7-1964	16	8	107	4,1	2,5	+
id.	23-11-1970	30	21	92	5,5	3,0	+
pp4	16- 4-1963	11	12	92	3,9	2,3	+
id.	23-11-1970	45	23	95	6,5	3,7	+
pp5	23-11-1970	67	26	95	7,5	4,9	+
pp6	23-11-1970	67	28	95	7,5	6,0	+
pp7	26- 8-1971	147	52	116	12,1	12,0	+
55 (14-15)	22- 3-1962	10	10	104	5,3	0,47	+
id.	10- 6-1970	10		116	5,3		
55 (21-22)	26- 3-1962	10	9	110	5,1	1,1	(+)
id.	10- 6-1970	10		107	5,2		
55 (76-77)	26- 3-1962	10	14	85	3,9	3,1	+
id.	10- 6-1970	62		76	7,8		
55 (119-120)	22- 3-1962	9	6	110	4,6	2,7	+
id.	10- 6-1970	11		85	3,9		
55 (169-170)	22- 3-1962	8	4	121	5,0	3,6	+
id.	10- 6-1970	11		125	4,9		
55 (211-218)	21- 3-1962	8	6	140	5,8	0,59	-
id.	10- 6-1970	9		143	5,8		

vanwege de vrij grote afstand (1,5 à 2 km), waarop het uit geo-elektrisch onderzoek [2] bekende zoute grondwater zich bevindt. Uiteraard bleef een zekere mogelijkheid aanwezig dat het hier om zout



Afb. 3 - Veranderingen in het stromingspatroon van het grondwater door de polderbemaling van Oostelijk Flevoland.

grondwater ging dat aan de aandacht was ontsnapt tijdens het vroeger verrichte geohydrologische en geo-elektrische onderzoek.

Het is daarnaast zeer onwaarschijnlijk dat de verslechtering te wijten valt aan een naar beneden sijpelen van water uit de directe omgeving van de pompputten. De ondiepe filters van waarnemingsput 55, die tussen de pompputten 5 en 6 ligt, tonen namelijk in het geheel geen verslechtering van de kwaliteit (zie tabel I).

Een volgende richting, waarin de verklaring kon worden gezocht, was reeds in 1952 aangewezen door Volker [1], die had voorspeld dat na de afmaling van de nieuwe polders een grondwaterstroming in gang zou worden gezet die het oorspronkelijk aanwezige grondwater zou vervangen door vanuit de randmeren afkomstig water. Het water van het Veluwemeer had omstreeks 1957 een chloridegehalte van soms ca. 300 mg/l, dat daarna geleidelijk is teruggelopen tot thans ca. 100 mg/l.

Het in de jaren 1969 en 1970 opgepompte grondwater van slechtere kwaliteit zou dan,

althans gedeeltelijk, afkomstig kunnen zijn van in 1957 of daarna uit het Veluwemeer naar de ondergrond geïnfilteerd water.

Dat niet onmiddellijk aan deze verklaring is gedacht lag aan een drietal omstandigheden. Ten eerste werden in de relatief het verst van de dijk gelegen pompputten de hoogste chloridegehalten bepaald, terwijl verwacht mocht worden dat dit bij de dichterbij gelegen putten eerder het geval zou zijn. Ten tweede werden in 1970 in de diepere filters van de tussen de pompputten en het Veluwemeer gelegen waarnemingsputten chloridegehalten bepaald die nauwelijks hoger waren dan die van het oorspronkelijk te Bremerberg opgepompte water en ten derde werd in 1970 in de ondiepe filters van boring 26F55 nog een zeer laag chloridegehalte gemeten (zie tabel I). Door echter het grofzandige pakket onder de Eemklei te verdelen in twee etages met verschillende doorlatendheden die van elkaar gescheiden zijn door minder goed doorlatende lagen, kan men tot een schematisering geraken, zoals afbeelding 3 laat zien, die de geconstateerde

feiten tot op zekere hoogte kan verklaren. Toch bleef er onzekerheid bestaan. Gezien het grote belang van het antwoord op de vraag, wat nu precies de verslechtering van de kwaliteit van het grondwater teweeg bracht, werd besloten een nader onderzoek naar de herkomst te verrichten. In wezen ging het er dus om of het slechtere grondwater een mengsel van Veluwewater en ten minste veertig jaar oud, maar vermoedelijk veel ouder, zout grondwater was, of dat het, althans voor een deel, na 1957 geïnfilteerd water uit het Veluwemeer was. Een onderdeel van dit onderzoek was de bepaling van het tritiumgehalte van het grondwater; hiermee bleek het mogelijk te zijn om op de gestelde vraag een ondubbelzinnig antwoord te geven.

### De betekenis van tritiumbepalingen aan grondwater

Tritium, aangeduid met de symbolen T of <sup>3</sup>H, is een radio-actief isotoop van waterstof. De benaming isotoop van waterstof betekent in dit geval dat de atoomkernen 1 proton en 2 neutronen bevatten (het heeft dus wel het zelfde atoomgetal als waterstof, maar het is drie keer zo zwaar). De toevoeging radio-actief houdt in dat het isotoop niet stabiel is, maar onder uitzending van radio-actieve straling uiteenvalt en daarmee dus als zodanig verdwijnt. De snelheid van deze desintegratie, die spontaan is en niet door externe effecten kan worden beïnvloed, bepaalt de halfwaardetijd, dat is de tijd waarin de helft van een oorspronkelijk aanwezige hoeveelheid is verdwenen. De halfwaardetijd van tritium bedraagt 12,3 jaar. De in een monster aanwezige hoeveelheid tritium wordt gemeten met behulp van de uitgezonden straling en uitgedrukt in pCi/l (picocurie per liter) of in TU (Tritium Units).

Tritium werd voor 1952 vrijwel uitsluitend gevormd in de dampkring, voornamelijk als gevolg van de kosmische straling waaraan deze bloot staat en belandde van daaruit als de chemische verbinding HTO in de neerslag. Doordat vorming en afbraak van het tritium vrijwel constant waren, werd in de neerslag voor 1952 een vrijwel constant gehalte van ca. 50 pCi/l aangetroffen [3, 4]. Deze hoeveelheid is zeer gering en zal als de neerslag een deel gaat vormen van het grondwater binnen enkele tientallen jaren praktisch verdwenen zijn. Van 1952 en vooral vanaf 1958 tot 1963 zijn echter, vergeleken met daarvoor, enorm grote hoeveelheden tritium in de atmosfeer gebracht ten gevolge van de toen in zwang zijnde proeven met kernwapens. Dit heeft duidelijke invloed uitgeoefend op het tritiumgehalte van de

TABEL II - Het tritiumgehalte van monsters grondwater afkomstig van Bremerberg.

Datum van monster-neming	Plaats van monster-name	Tritium-gehalte in pCi/l
dec. 1971	pompput 6	35 ± 3
idem	pompput 7	61 ± 4
idem	w.p. 95 (m.v.-120 m)	2 ± 3
idem	Veluwemeer	330 ± 6
sept. 1972	pompput 7	120 ± 10
idem	w.p. 92 (m.v.-13 m)	13 ± 3
idem	w.p. 92 (m.v.-31 m)	7 ± 5
idem	w.p. 92 (m.v.-56 m)	22 ± 3
idem	w.p. 92 (m.v.-80 m)	70 ± 10
idem	Veluwemeer	265 ± 10

neerslag en daarmee op dat van het na 1952 gevormde grondwater. Gesteld kan worden dat het voor 1952 ontstane grondwater ondertussen een tritiumgehalte van nagenoeg nihil zal bevatten, terwijl het daarna, maar vooral het in de jaren 1958 - 1963, gevormde grondwater, ook als het verdund is met delen ouder water, nog steeds een relatief hoog tritiumgehalte zal hebben. Hieruit volgt dat indien in grondwater een zekere hoeveelheid tritium wordt aangetroffen, tenminste een gedeelte ervan pas na 1952 (1958) in de ondergrond is terecht gekomen. Nadere kwantitatieve conclusies zijn, indien de verdeling tussen het oude en het jonge grondwater niet bekend is, nauwelijks te trekken.

#### Het tritiumgehalte in de monsters grondwater van Bremerberg

De bepalingen van het tritiumgehalte die uitgevoerd zijn aan een aantal monsters van Bremerberg, werden verricht door het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid. Dit instituut was tot mei 1971 niet toegerust om lage concentraties te bepalen [6], noch was enig ander Nederlands instituut daartoe in staat. Na die tijd werden de monsters na destillatie verrijkt, zodat de detectiegrens teruggebracht kon worden van 140 tot 15 pCi/l. Daarmee werd het mogelijk de monsters van Bremerberg te meten, die immers naar verwachting weliswaar een zeker tritiumgehalte zouden kunnen vertonen, dat echter ten gevolge van de opgetreden verdunning met ouder grondwater, de nog relatief geringe concentratie van tritium in de atmosfeer omstreeks 1958 en de sindsdien verlopen tijd, vermoedelijk minder dan 140 pCi/l zou zijn. Dit vermoeden werd bevestigd door de resultaten van twee meetseries, die door het RIV zijn uitgevoerd. Deze resultaten zijn vermeld in tabel II.

#### Uitwerking van de resultaten en conclusies

Uit de resultaten van de metingen kan reeds zonder meer worden geconcludeerd dat het te Bremerberg in de pompputten 6 en 7 opgepompte grondwater voor een

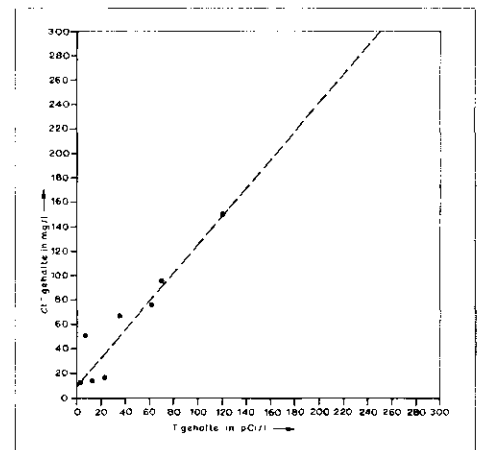
aanzienlijk deel uit in 1957 of later vanuit het Veluwemeer naar de ondergrond geïnfiltrerd water bestaat. De opgemerkte verslechtering van de kwaliteit van het door het pompstation geleverde water kan hieraan worden toegeschreven. Het is mogelijk om in dit speciale geval een nog preciezere uitspraak te doen door een samenloop van de navolgende omstandigheden.

— Zoals in het voorgaande aannemelijk is gemaakt, is rond het tijdstip van het droogvallen van Oostelijk Flevoland (ca. 1958) de verticale component van de grondwaterstroming onder het Veluwemeer omgeslagen van opwaarts naar neerwaarts.

— Het Veluwemeer is ondiep en heeft een geringe inhoud, waardoor de watertoevoer naar het meer theoretisch in staat is om de inhoud enkele malen per jaar te verversen [7]. Een gedeelte van deze toevoer bestaat uit de neerslag ter plaatse, terwijl ook de rest voor een vrij groot deel van recente neerslag afkomstig is. Hierdoor zal het tritiumgehalte van het meerwater op een bepaald tijdstip, althans in orde van grootte, niet veel afwijken van dat in de voorafgaande neerslag. Dit blijkt ook uit de waarden die in tabel II voor het Veluwemeer zijn gegeven. Eveneens door het RIV zijn over de perioden december 1970 - december 1971 en september 1971 - september 1972 voor de neerslag gemiddelde waarden van resp. 550 en 370 pCi/l bepaald [5]. Dat het Veluwemeerwater lagere gehalten bevat is een gevolg van een bijmenging van ouder water.

— In het tritiumgehalte van de neerslag zijn na 1952 een paar duidelijke pieken aan te wijzen. Zo is dit gehalte vanaf 1952 tot en met 1957 tamelijk laag (ca. 300 pCi/l), in 1958 en 1959 is het hoger (ca 1000 pCi/l), daarna wordt het weer lager (ca. 500 pCi/l), terwijl in 1963 het zeer hoge gehalte van meer dan 5000 pCi/l wordt bereikt. Deze gehalten zijn gemeten in Centraal-Europa [3], de waarden voor de neerslag in Nederland zullen iets lager zijn, maar er in orde van grootte niet van afwijken.

— Er is verschil tussen de chemische samenstelling van het water van het Veluwemeer en die van het grondwater dat van de Veluwe afkomstig is. Dit verschil



Afb. 4 - Het verband tussen het tritiumgehalte en het chloridegehalte.

komt het duidelijkst tot uiting in de waarden voor het chloridegehalte dat bij het Veluwegrondwater steeds 10 à 15 mg/l bedraagt en bij het Veluwemeerwater ca. 200 mg/l (het verloop ervan is tamelijk goed bekend voor de jaren na 1957).

Vooraf de laatstgenoemde eigenschappen zijn van groot belang. Deze maken het namelijk mogelijk om in de monsters grondwater de mengverhouding tussen het Veluwemeerwater en het oorspronkelijke grondwater te schatten. Dezelfde mengverhouding is bepalend voor het tritiumgehalte van een monster grondwater. Indien benaderend aangenomen wordt dat het gedeelte Veluwemeerwater in de monsters afkomstig is van ongeveer tezelfdertijd geïnfiltrerd water, dan zal het tritiumgehalte steeds recht evenredig moeten zijn met het chloridegehalte. Uit afb. 4 blijkt dat inderdaad een dergelijk verband aantoonbaar is.

Daar een verslechtering van het opgepompte water voor het eerst werd opgemerkt omstreeks 1969 is het aannemelijk dat toen het eerste vanuit het Veluwemeer geïnfiltrerde water de pompputten had bereikt. Ten tijde van de tritiumbepalingen zou dan Veluwemeerwater uit 1958 - 1959 worden aangetroffen. Dat kan nader worden geverifieerd. Indien we het in afb. 4 gevonden verband extrapoleren naar een chloridegehalte van 250 mg/l, zoals in 1958 - 1959 gemiddeld is gemeten in het Veluwemeer (200 à 300 mg/l), dan hoort

TABEL III - De termen van de waterbalans van het Veluwemeer tussen Harderwijk en Elburg gemiddeld over de jaren 1957 tot en met 1961.

IN per gemiddeld jaar	in cm waterschijf	in %	UIT per gemiddeld jaar	waterschijf in cm	in %
gemaal Lovink	300	57	lozing	425	81
beken	150	29	verdamping	70	13
neerslag	75	14	rest (= o.a. wegwijzing)	30	6
<b>totaal</b>	<b>525</b>	<b>100</b>	<b>totaal</b>	<b>525</b>	<b>100</b>

hierbij een tritiumgehalte (in 1971 - 1972) van 200 pCi/l. Dit betekent dat het Veluwemeerwater 12 à 13 jaar (= de halfwaardetijd) geleden een tritiumgehalte van ca. 400 pCi/l zou moeten hebben gehad. Dit gehalte is niet bepaald in die tijd, maar het kan worden geschat met behulp van het gehalte in de neerslag en de waterbalans van het Veluwemeer. Het tritiumgehalte in de neerslag zal in 1958 - 1959 ca. 1000 pCi/l hebben bedragen, terwijl volgens gegevens van de RIJP [7], de waterbalans voor het Veluwemeer in de jaren 1957-1961 de in tabel III gegeven vormt heeft gehad. Voor de schatting van het tritiumgehalte van het Veluwemeerwater is het nu nog nodig te weten welk gedeelte van het uitslagwater van het gemaal Lovink en van de beekafvoeren bestaat uit recente neerslag en welk uit ouder grondwater. Dit is niet bekend, doch in beide gevallen zal het oudere grondwater een aanzienlijk gedeelte uitmaken. De beken die in het meer uitmonden zijn kwelbeken, terwijl ook de sloten in Oostelijk Flevoland veel kwelwater zullen bevatten. Stel dat dit in beide gevallen de helft van het totaal is. In dat geval werd het Veluwemeer van 1957 tot en met 1961 per jaar gemiddeld met 57 % door recente neerslag gevoed en met 43 % door ouder grondwater. Dit betekent dat het tritiumgehalte in het Veluwemeerwater in 1958 - 1959 volgens deze benadering ca. 570 pCi/l zal zijn geweest. Dit komt in orde van grootte redelijk goed overeen met 400 pCi/l, zoals hiervoor is berekend.

De slotconclusie moet dus luiden dat de verslechtering in de kwaliteit van het grondwater te Bremerberg in de jaren 1971 - 1972, te wijten is aan een menging van het oorspronkelijke aanwezige grondwater met Veluwemeerwater uit de periode 1958 - 1959 of kort daarna, maar in ieder geval van voor 1963.

In het algemeen kan worden gesteld, dat in gevallen waarin een verslechtering van de kwaliteit van het grondwater wordt opgemerkt, die zowel te wijten kan zijn aan het aantrekken van oud grondwater van een andere samenstelling, als aan het infiltreren van vervuild oppervlaktewater, de bepaling van het tritiumgehalte van het opgepompte water een belangrijk hulpmiddel kan zijn bij het doen van een nadere uitspraak.

#### Literatuur

1. Sieben, W. H., Smits, H. en Volker, A. *'Het randmeer langs de Veluwe'*, ZZW 1952.
2. Dijkstra, J. en Volker, A. *'Geo-elektrisch onderzoek op het IJsselmeer'*, Rapporten en mededelingen betreffende de Zuiderzeewerken, 1957.
3. International Atomic Energy Agency, Wenen. *'Guidebook on nuclear techniques in hydrology'*, Technical report series no. 91, 1968.