Effecten van radio-activiteit op (oever-)grondwater

Voordracht uit de veertigste vakantiecursus drinkwater 'Radio-activiteit en de drinkwatervoorziening', gehouden op 7 en 8 januari 1988 aan de TU Delft.

Volgens sommige binnenlandse en buitenlandse deskundigen is het diepere grondwater veilig voor radio-actieve besmettingen.
Deze veiligheid is evenwel slechts betrekkelijk.

Hoe betrekkelijk, is afhankelijk van diverse factoren, waarvan de belangrijkste, naast radio-activiteit zelf, zijn:
a. de verblijftijd in de bodem van het water, dat met radio-activiteit is besmet;
b. de adsorptie van de radio-actieve stoffen aan klei, veen, slib en
c. de zuiveringsmethode.

J. C. SYBRANDI
Waterleiding Maatschappij 'Overijssel' NV, Zwolle

Verblijftijd

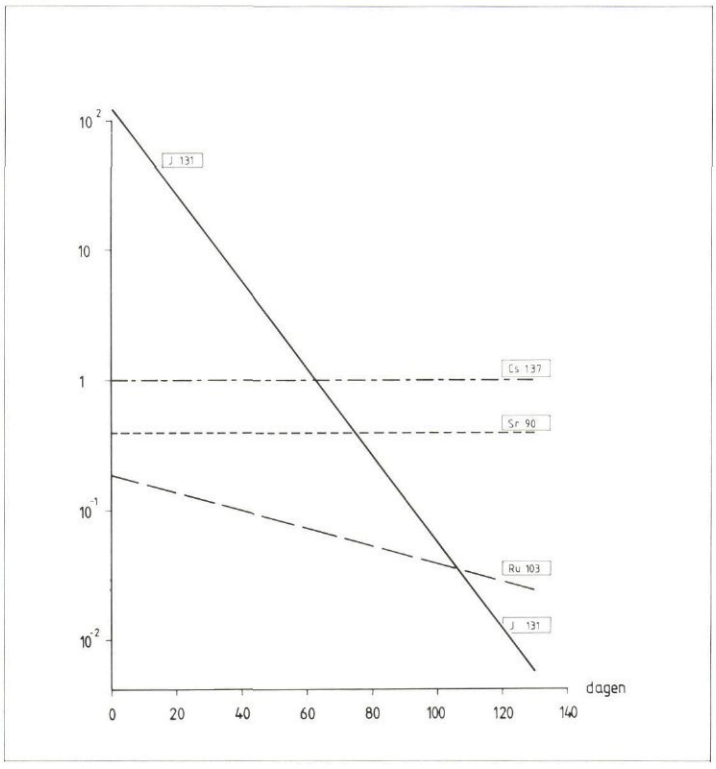
De verblijftijd van een grondwaterdeeltje in de bodem is de tijd die verstrijkt tussen de indringing in de bodem en de winning uit de bodem. De verblijftijd verschilt van pompstation tot pompstation en per pompstation veelal ook van winput tot winput. Per winput is de verblijftijd van het water voorts meestal anders voor het water dat door de bovenste helft van het putfilter dan voor dat wat door de onderste helft van het putfilter wordt aangezogen.
Het betekent dat het begrip verblijftijd van grondwater bij de waterwinning nogal complex is.
Bij een korte verblijftijd van bijvoorbeeld één maand spelen de kortlevende en dus intensief stralende radio-actieve stoffen de hoofdrol. Het bekendste is in dit verband jodium 131, met een halveringstijd van ruim acht dagen.
Na drie maanden is de activiteit van dit jodium afgenomen met een factor 2.000. Dan is de invloed van de langer levende stralers bepalend geworden.
Bekende voorbeelden zijn tritium met een halveringstijd van twaalf jaar, cesium 137 en strontium 90 beide met dertig jaar en kalium met veertig miljard jaar.
Het verschil in activiteit tussen deze twee typen is duidelijk zichtbaar in afb. 1.
Hierin is de stralingsintensiteit van Cs 137 als basis genomen, dus die is gelijk aan 1 gesteld.
In deze afbeelding is per isotoop de invloed van de straling op de gezondheid verdisconteerd in de intensiteit.
Dit betekent dat bijvoorbeeld jodium een factor 20 en strontium een factor 40 hoger is gekomen [1].
Bij de winning van grondwater wordt gerekend met verblijftijden van 1 jaar, 10 jaar, 25 jaar en soms nog veel langer. Dan is het belangrijk om de aandacht te richten op de langer levende stralers en hun gedrag gedurende een groot aantal jaren. Interessant is dan niet zozeer wat er sedert april 1986 met de radio-actieve neerslag in de bodem is gebeurd, als wel wat er sedert de grote series proef-explosies met kernbommen vanaf de vijftiger jaren is geconstateerd.

Samenvatting
De invloed van een besmetting met radio-actieve stoffen wordt bij gebruik van grondwater en oever-grondwater beperkt door de lengte van de verblijftijd van het water in de bodem en door adsorptie aan bodemmateriaal en aan slib.
Over het effect van adsorptie van diverse radio-actieve stoffen bestaat nog te weinig duidelijkheid.
Het kortlevende jodium 131 is na 1 of 2 maanden 'uitgewerkt'; strontium 90, indien aanwezig, adsorbeert opvallend slecht en cesium schijnt door kleimineralen goed te kunnen worden geadsorbeerd.

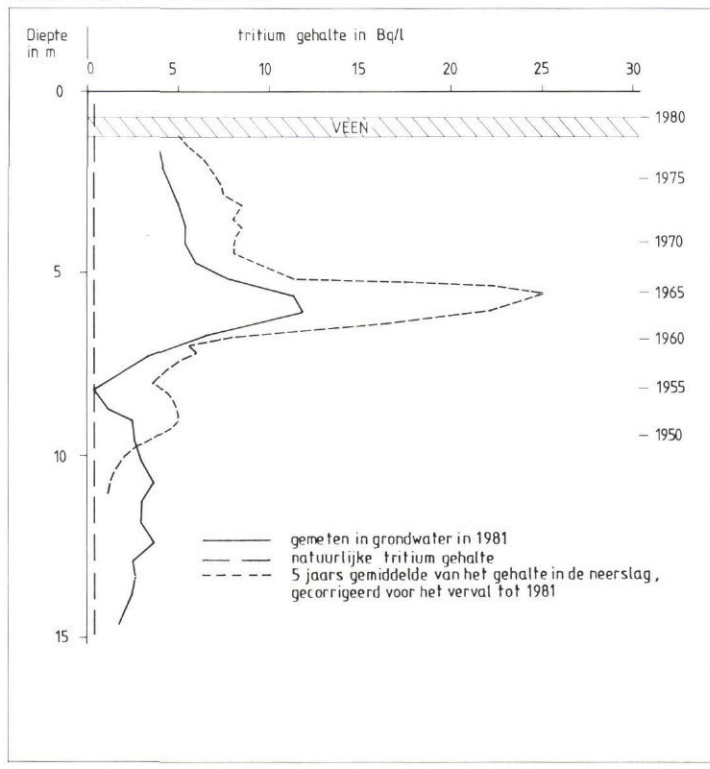
Tritium

In dit verband is voor ons van belang wat er in ons land is gemeten, bijvoorbeeld aan tritium. Dit is gedaan voor onderzoek naar de herkomst en de ouderdom van grondwater. In een publikatie van het voormalige RID uit 1983 worden door

Afb. 1 - Verloop van het relatieve stralingsgevaar van drie belangrijke isotopen ten opzichte van dat van cesium.



Afb. 2 - Verloop van het tritiumgehalte in grondwater met piek bij lage inzijgsnelheid in de Peel.

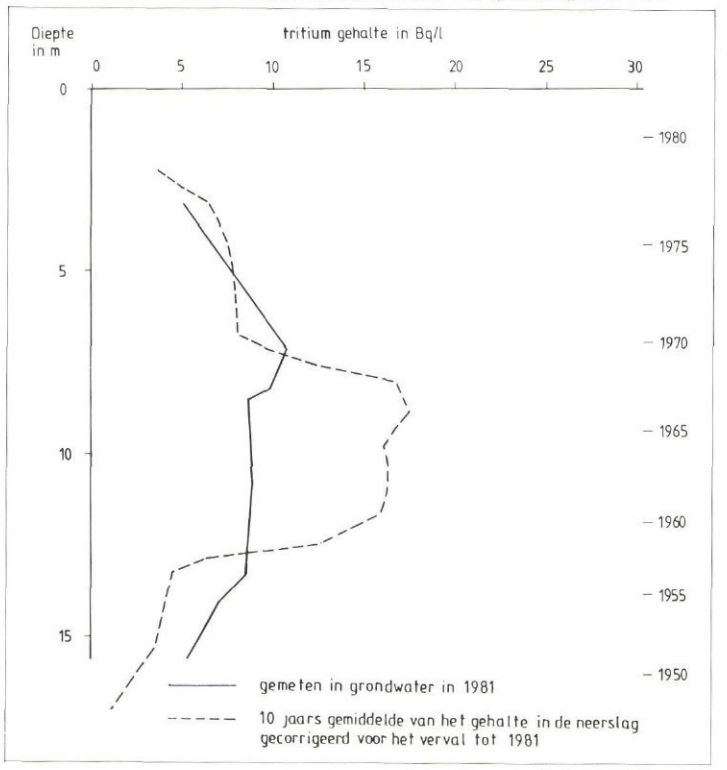


Meinardi enkele series meetgegevens van tritium vermeld. Deze zijn in 1981 bepaald in water uit minifilters in zandpakketten in de Peel en in het midden van Zuid-Holland tot een diepte van vijftien meter en soms zelfs dertig meter [2].
Tritium biedt enkele voordelen:
a. rond 1964 was er een duidelijke piek in de neerslag;
b. het natuurlijke gehalte is zeer laag en
c. aangenomen wordt dat het niet wordt geadsorbeerd en dat het dus even snel beweegt als het water zelf.
Naast het tritium zijn twee andere isotopen gemeten, te weten deuterium, ^{2}H, en ^{18}O, een zwaardere isotoop van zuurstof. Deze combinatie heeft een betere onderbouwing van de ouderdomsbepaling van grondwater mogelijk gemaakt.
Eén van de mooiste tritiumpieken uit de literatuur is in afb. 2 te zien. De piek is in 1981 aangetroffen op een diepte van slechts zes meter. Deze piek is volgens de auteur afkomstig uit de tritiumpiek in de neerslag van de beginjaren zestig.
Het geschatte tritiumgehalte van de neerslag is na correcties voor de halveringstijd tot 1981 eveneens in de grafiek opgenomen en wel als voortschrijdend vijf-jaars gemiddelde.
De inzijgsnelheid in de verzadigde zone is erg laag, circa 30 cm per jaar. Dat deze zo laag is kan worden verklaard uit de aanwezigheid van een veenlaag, die hier 0,5 m dik is. Daarboven ligt een moeras met relatief veel verdamping en zijwaartse afstroming. Wanneer deze verschijnselen vooral in het voorjaar en de vroege zomer optreden, wordt naar verhouding veel tritium mee afgevoerd, waardoor het jaargemiddelde in het inzijgende water lager ligt dan in de gemiddelde neerslag.
Het maximum rond 12 Bq per liter in het grondwater bedraagt echter niet meer dan zo'n 40% van het geschatte maximum van 30 Bq in de neerslag. Dit zou door de bovengenoemde seizoensinvloeden voor een deel kunnen worden verklaard.
Het natuurlijke tritiumgehalte is slechts 0,2 Bq/l. Opgemerkt wordt dat de tritiumpiek de veenlaag hier duidelijk herkenbaar heeft kunnen passeren.

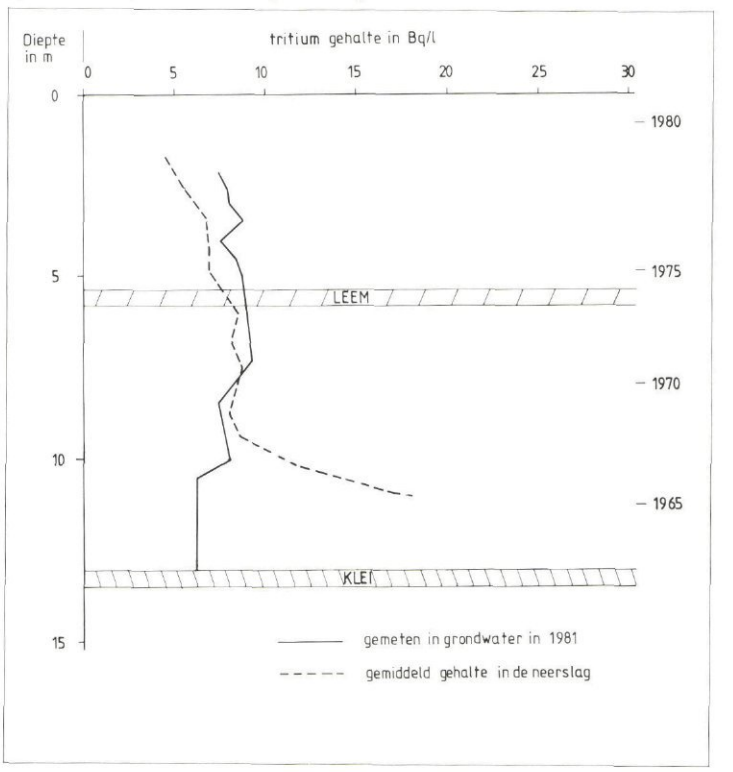
In afb. 3 is tussen zes en veertien meter diepte een duidelijke verhoging in het tritiumgehalte gevonden met waarden tussen de 5 en 10 Bq/l. Een echte piek ontbreekt evenwel. Volgens de berekende tijdschaal zou deze op tien meter diepte liggen.
Niet het voortschrijdende tien-jaars gemiddelde van de neerslag, dat in de afbeelding is getekend, doch een twintigjaars gemiddelde zou redelijk overeenkomen met de in het grondwater gemeten tritiumgehalten. Er heeft hier dus een grote afvlakking van de piek uit 1964 plaatsgevonden.
Echt opvallend is het tritiumgehalte in afb. 4. Op de plaats waar de piek is berekend, op twaalf meter diepte, is eerder van een verlaging dan van een verhoging van het tritiumgehalte in het grondwater sprake.
De boorbeschrijvingen vermelden enkele klei- en leemlagen in het profiel, die ongetwijfeld door hun aanwezigheid verstorend kunnen werken.
Als de piek hier niet aanwezig is, moet die wel ergens anders zitten. De piek of wat daarvan over kan zijn is niet echt verdwenen, maar is alleen niet gevonden waar die min of meer werd verwacht.
Een goede verklaring hiervoor ontbreekt nog, mede door gebrek aan gegevens op grotere diepte.

Afb. 5 bevat relatief hoge tritiumgehaltes van tussen de 8 en 12 Bq/l, maar weinig variatie. Ze liggen over de hele linie hoger dan die van de neerslag. Dit kan worden verklaard door de ligging van de boring, te weten in een sportveldencomplex in de omgeving van Leiden. Daar wordt in de zomermaanden regelmatig beregend met water, dat meer tritium bevat dan het regenwater. Hier is dan eigenlijk sprake van een vorm van kunstmatige infiltratie.
Het laatste plaatje met tritiumgegevens, afb. 6, betreft een dertig meter diepe binnendijkse boring langs de Lek bij Nieuw-Lekkerland. Ondanks de aanwezigheid van een vijftien meter dik pakket met veen, leem en klei, wijzen de

Afb. 3 - Verloop van het tritiumgehalte in grondwater met afvlakking in de Peel.



Afb. 4 - Verloop van het tritiumgehalte in grondwater in de Peel.

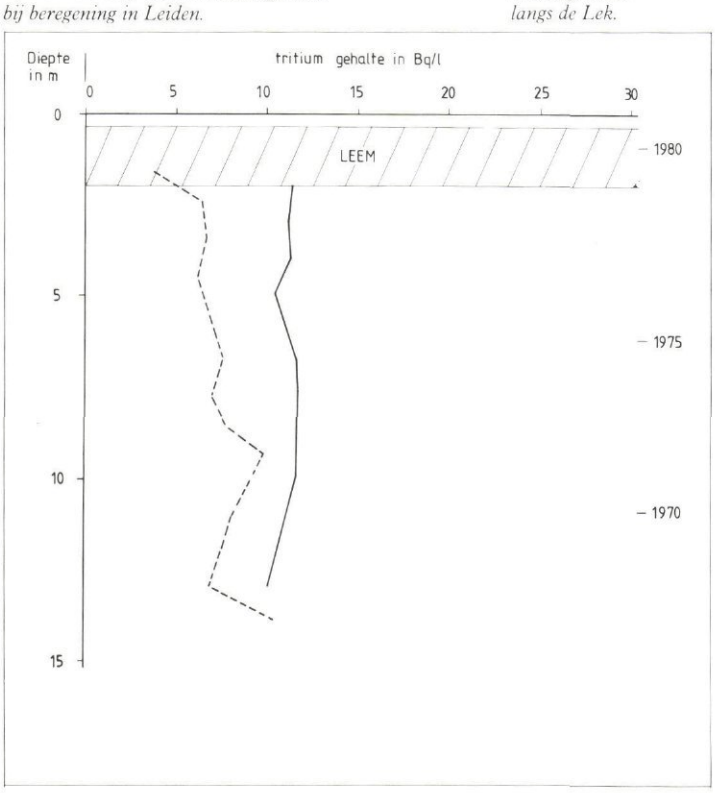


tritiumgehaltes van 10-15 Bq/l op infiltratie van puur Rijnwater dat niet ouder is dan vijftien jaar. Het gehalte daarvan ligt bij de geschatte ouderdom van vijftien jaar tussen 20 en 10 Bq/l [2].
In de hiervoor geschetste situaties is geen sprake van waterwinningen. In de buurt van waterwingebieden zal het verhang meestal groter zijn, zullen de stroomsnelheden hoger liggen en zullen de verblijftijden dus korter zijn, althans in de verzadigde zone.

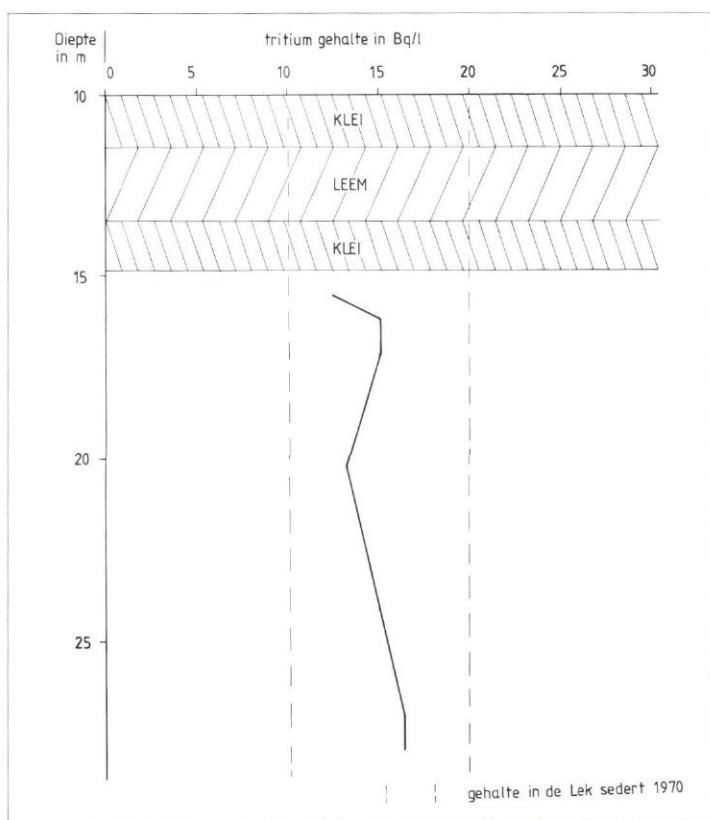
Adsorptie

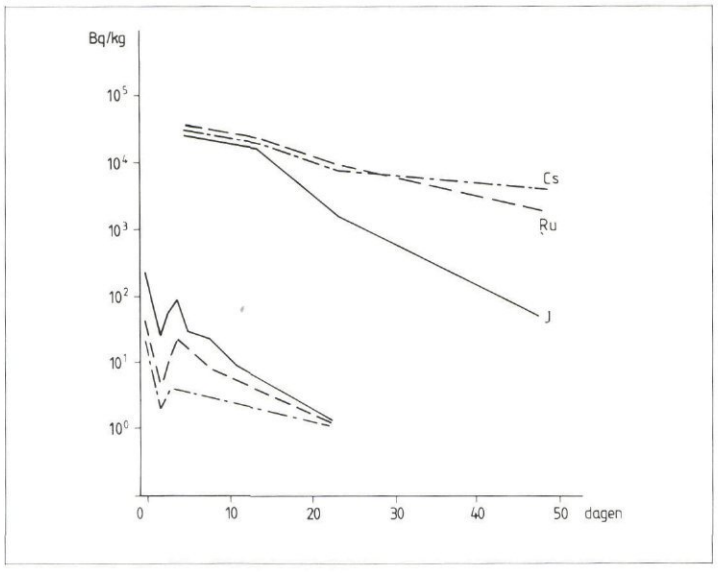
Sommige radio-actieve elementen worden zeer sterk geadsorbeerd aan veen, klei, leem of slib. Voorbeelden zijn zware metalen en zeldzame aardmetalen.
Van andere elementen kan dit niet altijd worden gezegd. Voorbeelden hiervan zijn jodium, de edelgassen en het natuurlijke kalium 40. Van tritium wordt aangenomen dat dit in het geheel niet adsorbeert.
Het beeld van de adsorptie van de verschillende stralers is echter niet eenduidig. Enkele voorbeelden ter illustratie:
De radio-activiteit in de rivieren Rijn en Maas was in 1986 na de kernramp voor ruim 90% gebonden aan het rivierslib en het sediment. Bij nader onderzoek aan het slib in de Rijn bij Wiesbaden bleek de activiteit van cesium in de fijnste slibfractie tien tot honderd maal hoger te zijn dan aan de grovere bestanddelen [3].
Het slib van rioolwaterzuiveringsinrichtingen, waarop ook regenwater werd geloosd, bevatte een sterk verhoogde radio-activiteit. Deze bestond veelal voor ongeveer de helft uit Ru-103 en voor 20% uit Cs-137, met sterk wisselende jodiumfracties tussen 1 en 25% [4].
Het slib in de rivier de Weser geeft een ander beeld [5]. Ruthenium wordt snel voor ruim 90% aan slib geadsorbeerd, cesium wordt ook snel opgenomen, doch voor niet meer dan 25%.
Bij strontium is hier van adsorptie nauwelijks sprake. Jodium is niet onderzocht.
In Zuid-Duitsland, waar ten gevolge van Tsjernobyl relatief veel radio-activiteit is neergeslagen, zijn kort daarna van de rivier de Regen bij de Tsjechische grens zowel de concentraties in het water als die aan het sediment gemeten, en nog wel in dezelfde periode, zie afb. 6 [6].
Jodium wordt ongeveer duizend maal zo sterk geconcentreerd aan slib, ruthenium tienduizend maal zo sterk en cesium ligt daar tussenin.
Maar de geadsorbeerde hoeveelheden dalen alle sneller dan volgens de halveringstijd verwacht.
Het is duidelijk dat adsorptie een belangrijke rol speelt bij het gedrag van radio-actieve stoffen en dan vooral bij de metaalachtige stralers.
Bij jodium en cesium is de invloed van de adsorptie minder groot, maar het beeld is niet overal hetzelfde. Sterker nog, het ene bericht spreekt het andere tegen.
Uit berichten dat onder andere sommige paddestoelen en honing van heidebloemen uit 1987 [7, 8] teveel cesium blijken te bevatten mag overigens niet worden afgeleid dat al het cesium dus in de bovenste centimeters van de aardbodem wordt vastgehouden.
Wel duidelijk is, dat de adsorptieverschijnselen in alle gevallen moeten worden gezien als uitwisselingsreacties van de radio-actieve stoffen tussen de opgeloste fase, het water, en de vaste fase, het slib of de klei.
Iedere scheikundige stof heeft daarbij zijn eigen vaste verhouding tussen de concentratie in water en die aan een bepaalde vaste fase. Die verhouding heet de verdelingscoëfficiënt.
Neemt de concentratie in het water toe, dan zal die aan de vaste stof ook toenemen, tot er weer een evenwicht is bereikt. Dit gaat soms snel, maar kan ook wel heel traag verlopen, zoals met strontium in de Weser [5].
Omgekeerd geldt ook dat wanneer de concentraties in het water lager worden, er weer deeltjes van de vaste fase in oplossing gaan tot de evenwichtstoestand opnieuw is bereikt.
Het adsorptieproces slaat dan om in een desorptieproces. Dit betekent heel concreet dat het grote voordeel van een

Afb. 5 - Verloop van het tritiumgehalte bij beregening in Leiden.

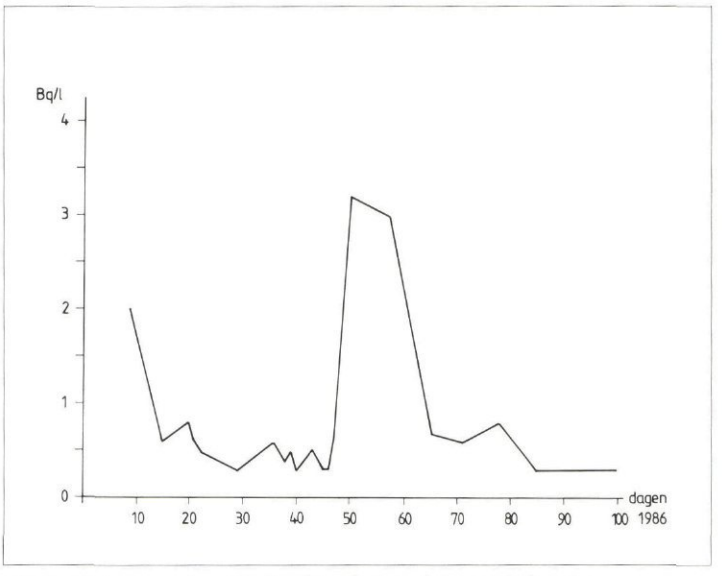


Afb. 6 - Verloop van het tritiumgehalte bij oeverinfiltratie langs de Lek.





Afb. 7 - Verdeling over rivierwater (onder) en slib (boven) van jodium 131 (——), ruthenium 103 (– – –) en cesium 137 (•—•), [7].



Afb. 8 - Verloop van de reststralingsintensiteit van het water in het open aanvoerkanaal van het pompstation Scheveningen na 1 mei 1986.

goede adsorptie van radio-actieve stoffen wordt gevolgd door het nadeel van de desorptie, waardoor na kortere of langere tijd de geadsorbeerde stoffen weer in het water kunnen belanden. Zij kunnen dan alsnog hun schadelijke invloed uitoefenen. De ondertussen opgetreden vertraging blijft natuurlijk wel een gunstige factor vormen:
- omdat in die tijd de intensiteit van de naar verhouding kort-levende stralers merkbaar kan afnemen;
- omdat het mengsel van radio-actieve stoffen, de zogenaamde 'cocktail' wordt opgesplitst in afzonderlijke stoffen, net zoals bij de chromatografie en
- omdat in die tussentijd mogelijk passende maatregelen kunnen worden getroffen voor een verdere verlaging van de radio-actieve belasting van de mens via het drinkwater.

Voorbeeld

In de praktijk hebben we in de sector drinkwater altijd te maken met een combinatie van verblijftijd, adsorptie en behandeling.
De effecten van deze drie factoren zijn niet altijd goed uit elkaar te houden.
De praktijkgegevens uit de afgelopen dertig jaren zijn, wat de radio-actieve belasting van de consument aangaat, voor het overgrote deel geruststellend, vooral voor bedrijven die (oever-)grondwater als grondstof gebruiken. Deze geruststelling kan echter misleidend zijn.
Zo is er een voorbeeld van doorslag van radio-activiteit na een vertraging van ongeveer zes weken, zie afb. 8.
Deze afbeelding laat zien hoe de piek van de radio-actieve neerslag in het begin van mei 1986 omstreeks half juni wordt teruggevonden in het na infiltratie in de duinen van Scheveningen teruggewonnen water. In het uitgaande reine water is daar niet veel van teruggevonden.
Een interpretatie van onze Haagse collega's is dat de verblijftijd van het water in de duinen gemiddeld vier weken bedraagt, dat de adsorptie van slib op en in de bodem een vertraging van misschien een week oplevert en dat de adsorptie aan slib tijdens de zuivering een halve week vertraging oplevert. Van een volledige verwijdering is echter beslist geen sprake. De radio-actieve stoffen zijn op zijn minst voor een deel doorgeslagen, zowel door het zandpakket in de duinen als door de filters op het pompstation [9].
Dit moet een allerminst geruststellend gegeven zijn voor de oevergrondwaterwinnende bedrijven, waar gerekend wordt met korte verblijftijden van enkele weken tot enkele jaren.

Bereiding

Ook bij de bereiding van het drinkwater kunnen de adsorptieprocessen een belangrijke rol spelen. Niet alleen de adsorptie aan actieve kool is gunstig, maar ook die aan slib en wel voornamelijk in langzame zandfilters.
Het verwijderingspercentage bij de bereiding van drinkwater lag bij de RIWA-bedrijven op rond 50%, met een spreiding van 30 tot 85% (dit stemt overeen met andere gegevens) [9, 10].
Uit de buitenlandse literatuur [11] blijkt, dat:
- cesium zeer tegenstrijdige gedragingen vertoont en dat kalium adsorptie van cesium remt;
- strontium slecht wordt verwijderd mede door toedoen van calcium;
- jodium beperkt wordt verwijderd, behalve soms met actieve kool;
- zeldzame aardmetalen zeer goed en
- zware metalen matig goed worden tegengehouden.

De bedrijven die grondwater of oevergrondwater als grondstof gebruiken behoeven van de snelfiltratie over filterzand geen grote adsorptie van radio-actieve stoffen te verwachten. Daar moet het verwijderingsresultaat komen van actieve kool. Deze zuiveringstrap wordt overigens ook om andere redenen vooral bij oevergrondwaterwinnende bedrijven steeds meer toegepast.
In de literatuur wordt nog een aantal specifieke behandelingsmogelijkheden genoemd [11].
Voor jodium bijvoorbeeld wordt gedacht aan behandeling van filterzand met zilvernitraat, voor strontium aan ontharding met kalk en voor diverse radio-actieve stoffen aan verschillende soorten ionenwisselaars. Nader onderzoek naar de praktijk in ons land is geboden.

Beluchting

In dit verband moet worden opgemerkt dat de invloed van de beluchting zelfs in extreme gevallen geen noemenswaardige bijdrage aan de radio-actieve belasting van de consument levert [12].
De redenering is als volgt: stel dat de mens per dag twee liter water consumeert en dat bij de behandeling van dat water in totaal een honderdvoudige hoeveelheid lucht is gebruikt, dan betreft dat dus tweehonderd liter lucht per dag. De hoeveelheid lucht die een mens inademt bedraagt ongeveer tien kubieke meter per dag.
Dit betekent dat het bij de beluchting van het drinkwater gaat om ten hoogste 2%

van de radio-actieve belasting, waaraan de mens via de ademhaling is blootgesteld.

Andere drank?

De vraag kan worden gesteld of het in extreme gevallen niet beter is om de toevlucht te nemen tot ander vocht om te drinken dan verdacht drinkwater.
Nog afgezien van de beschikbaarheid van verpakte of gebottelde dranken, wil ik erop wijzen dat ons leidingwater naast de permanent belangrijke functie van drinkwater onder extreme omstandigheden tevens heel erg nodig kan zijn om radioactieve stof af te spoelen, niet alleen van voedsel, maar vooral ook van het lichaam, van de onbedekte lichaamsdelen en last but not least van brandwonden en andere beschadigingen van de huid. Dit laatste is onder andere in 1945 in Hiroshima overduidelijk gebleken.

Opmerkingen

1. Het drinkwater in ons land mag ongeacht de herkomst van de grondstoffen één van de veiligste consumptieartikelen worden genoemd, ook uit het oogpunt van radio-actieve belasting van de consument.
2. Vanuit dit oogpunt is er echter in het algemeen wel verschil wat de grondstof betreft. De volgorde van de grondstof met toenemende veiligheid is volgens een literatuuropgave [13]: oppervlaktewater, oeverfiltraat, grondwater.
3. De radio-actieve belasting van water, bodem en lucht is in ons land en in de andere landen van de EG tot nu toe beperkt gebleven. Dit geldt zowel in de reeks van jaren waarin regelmatig bovengrondse atoomproeven werden gehouden, als na het ongeval met de kerncentrale in Tsjernobyl.
De vraag is gewettigd, wat er zou zijn gebeurd wanneer die centrale tien maal zo dichtbij had gestaan.
Ook dan was, evenals in 1986, niet in de eerste plaats de afstand beslissend, maar wel de meteorologische toestand.
Deze betreft met name de richting van de wind en de hoeveelheid en de duur van de neerslag tijdens de passage van de radio-actieve wolk.
Daarnaast ontstaat er een ander patroon in de samenstelling van de 'cocktail'. Naarmate de afstand van de stralingsbron korter wordt, komen er vooral meer metalen voor zoals ruthenium, zirkoon, lantaan en cesium, doch ook meer strontium [11, 13].
4. Dat de radio-actieve belasting in ons land na de grote aantallen proefexplosies met voornamelijk bovengrondse kernbommen gering was, had tot gevolg dat er tot aan 1986 niet zoveel relevante gegevens over ioniserende straling in grondwater en oevergrondwater beschikbaar zijn.
Voorts zijn door het beperkte aantal betrouwbare waarnemingen en door de veelal zeer lage intensiteit van de straling de resultaten meermalen tegenstrijdig. Dit maakt serieuze voorspellingen nog erg moeilijk.
Voor vermindering van de radio-activiteit in water is de verblijftijd de enige betrouwbare bondgenoot, zeker wat betreft de relatief kort-levende stralers. Berichten in algemene zin over adsorptie in de bodem en verwijdering bij de waterwinning dienen alsnog zeer kritisch te worden bezien.
5. Voor een ernstige situatie kunnen zinnige maatregelen worden voorbereid. Zo hebben heel wat waterleidingbedrijven de mogelijkheid om naast het gebruikelijke watertype in bijzondere gevallen ander water te winnen, met name water dat een andere verblijftijd heeft gehad. Misschien moet er dan worden gekozen tussen voldoende oppervlaktewater en kleine hoeveelheden grondwater, of tussen ondiep en diep grondwater, of tussen oeverfiltraat en brak grondwater. Ook op het gebied van de zuivering zijn nog verbeteringen denkbaar, zoals uitbreiding van de toepassing van actieve kool.
6. Onze bedrijfstak heeft reeds blijk gegeven lering te hebben getrokken uit de gebeurtenissen met de kernreactor in Rusland.
De oplossing is niet in de eerste plaats een actie om alle kernwapens en kerncentrales de wereld uit te krijgen, te beginnen in Nederland.
Wel is een streng nationaal en ook internationaal toezicht nodig op de naleving van de veiligheidsvoorschriften voor kerncentrales en kernwapens en andere bronnen van radio-activiteit.
En waakzaamheid!
7. Het is de kunst om uit de negatieve gevolgen van de ongevallen met radioactieve stoffen positieve maatregelen te treffen voor een betere beveiliging van mens en dier en voor een goed beheer van natuur en milieu, kortom voor alles wat geschapen is.
Dit in samenwerking met de overheid, de elektriciteitsbedrijven en alle andere landgenoten en wereldburgers.

Conclusies

1. De belasting met radio-actieve stoffen van (oever-)grondwater in ons land is tot nu toe gering geweest. Desondanks is waakzaamheid geboden.
2. De lengte van de verblijftijd in de bodem van water, dat met radio-activiteit is besmet, vormt althans tegen kortlevende stralers de beste bescherming.
3. Het effect van adsorptie aan slib en dergelijke in de bodem en tijdens de zuivering is behalve voor de zware metalen tamelijk beperkt.
4. *Jodium*
Tot 1 à 2 maanden na een ongeval met een reactorkern wordt de meest schadelijke straling veroorzaakt door jodium 131.
Jodium wordt zowel in de bodem als tijdens de zuivering slechts in beperkte mate geadsorbeerd. Dreigt het water teveel jodium te bevatten, dan lijkt een maatregel in de sfeer van het tijdig verstrekken van jodiumtabletten aan de bevolking het meest effectief.
5. *Cesium*
Vanaf 2 à 3 maanden na zo'n ongeval wordt de intensiteit van de radio-actieve straling voornamelijk bepaald door cesium 137 en in iets mindere mate door cesium 134.
Cesium wordt zowel in de bodem als tijdens de zuivering soms slechts in beperkte mate geadsorbeerd.
Is menging met beter water niet haalbaar, dan kan een extra behandeling zoals ionenwisseling gunstig zijn.
6. *Strontium*
De bijdrage van strontium 90 aan de intensiteit van de straling van de 'cocktail' is weliswaar gering, maar door de veel grotere schadelijkheid voor de gezondheid is de invloed op de gezondheid nauwelijks minder dan die van cesium.
Ook strontium wordt zowel in de bodem als tijdens de zuivering slechts in beperkte mate geadsorbeerd. Ontharding is relatief gunstig.

Literatuur

1. Haberer K. (1986/1987). *Umweltradioaktivität und Trinkwasserversorgung.* GWF-Wasser/Abwasser 127, p. 597-603.
2. Meinardi C. R. (1983). *De gehalten aan natuurlijke isotopen, gemeten in het project 'kwaliteitsvariaties grondwater'.* Rijksinstituut voor drinkwatervoorziening, publikatie hy.h 83-24.
3. Haberer K. (1986/1987). *Umweltradioaktivität und Trinkwasserversorgung.* GWF-Wasser/Abwasser 128, p. 188-194.
4. Veen R. van c.s. (1986). *Radio-actieve besmetting ten gevolge van het Tsjernobyl-ongeval in oppervlaktewater, zwevende stof en zuiveringsslib.* Ministerie van verkeer en waterstaat, RWS/DBW/RIZA, nota nr. 87.017. Lelystad, september 1986.
5. Förstner U. c.s. (1985). *Verteilung von Spurmetallen zwischen Lösung und Feststoffen.* Jahrb. Vom Wasser 64, p. 1-16.
6. Friedmann L. c.s. (1986). *Radioaktive Belastungen des Wassers in Bayern nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl.* GWF-Wasser/Abwasser 127, p. 604-613.
7. Dagblad Trouw (1987). 5 november, p. 9.
8. Zwolse Courant (1988). 18 februari, p. 1.
9. Hoogcarspel, B. B. (1986). *De gevolgen van de reactorramp in Tsjernobyl in april 1986 voor de waterkwaliteit in alle stadia van produktie van*

• *Slot op pagina 91, 1e kolom, onderin.*