Meer atrazine in grondwater van Zuid-Limburg

J.M.S. VAN MAANEN, VAKGROEP GEZONDHEIDSRISICO-ANALYSE EN TOXICOLOGIE, UNIVERSITEIT MAASTRICHT
W.P.A.M. HENDRIX, MINISTERIE VAN VERKEER EN WATERSTAAT, DIRECTORAAT-GENERAAL RIJKSWATERSTAAT, DE MAASWERKEN, MAASTRICHT
E. MOONEN, VAKGROEP GEZONDHEIDSRISICO-ANALYSE EN TOXICOLOGIE, UNIVERSITEIT MAASTRICHT
J. VAN LANGENHOVE, VAKGROEP GEZONDHEIDSRISICO-ANALYSE EN TOXICOLOGIE, UNIVERSITEIT MAASTRICHT
J.C.S. KLEINJANS, VAKGROEP GEZONDHEIDSRISICO-ANALYSE EN TOXICOLOGIE, UNIVERSITEIT MAASTRICHT





Uit het onderzoek naar het voorkomen van atrazine in bronnen op het Centraal Plateau van Limburg blijkt dat de norm voor het grondwater veelvuldig overschreden wordt. In incidentele gevallen wordt dit grondwater nog direct voor de drinkwatervoorziening gebruikt. Daar de bronnen nog veelvuldig voor veedrenking worden gebruikt, kan via de consumptie van dierlijke producten de menselijke gezondheid ook nadelig beïnvloed worden. Omdat de verblijftijd van het grondwater van het Centraal Plateau relatief klein is, is het Centraal Plateau geschikt om de relatie tussen het landgebruik en de samenstelling van het grondwater vast te stellen. Bijzondere aandacht moet hierbij uitgaan naar de gelijktijdige aanwezigheid van hoge concentraties nitraat en atrazine in het grondwater vanwege hun potentiële interactie, met name het voorkomen van atrazine en nitraatconcentraties boven hun respectievelijke drinkwaternormen van 0.1 µg/l en 50 mg/l. De kwaliteit van het grondwater laat nog zeer te wensen over. In het belang van de drinkwatervoorziening op de lange termijn dient deze kwaliteit verbeterd te worden. Het hieronder beschreven onderzoek betreft een steekproef. Mogelijk is het nuttig in de toekomst nader onderzoek te doen.

Atrazine (6-chloor-N-ethyl-N'-(1-methylethyl)-1,3,5-triazine-2,4-diamine) is een selectief herbicide uit de triazine-familie die gebruikt wordt ter bestrijding van enkele grasonkruiden in gewassen die in Zuid-Limburg geteeld worden, zoals maïs en suikerbieten. Sinds de introductie in 1958 is atrazine populair vanwege de relatief lage prijs voor goede seizoenslange gewasbescherming.

Om een breedwerkend spectrum van onkruidbestrijding teweeg te brengen wordt atrazine vaak gemengd met andere herbiciden. Uit gegevens van de USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) blijkt atrazine het meest gebruikte bestrijdingsmiddel in de Verenigde Staten[1]. Voor de Nederlandse situatie wordt in de Watersysteemverkenningen 1996 voor triazinen[2] gesteld dat meer aandacht besteed zou moeten worden aan een zorgvuldig gebruik van atrazine, gezien het aantal overschrijdingen en de hoogte van de overschrijdingen van de normen voor atrazine in oppervlaktewater en grondwater en het voorkomen in regenwater. Triazinen zijn zelfs in zee teruggevonden[3].

Wegens het verspreidingsgedrag wordt het wenselijk geacht in navolging van Duitsland het gebruik van atrazine in Nederland te verbieden. Atrazine wordt slechts langzaam omgezet, waardoor het zich gemakkelijk kan verspreiden. In de bodem kan atrazine zowel *biotisch als abiotisch getransformeerd worden*. Hydrolyse (hydrolytische dechlorinatie), N-dealkylering en ring cleavage zijn de belangrijkste processen die atrazine degraderen. De transformatieproducten die hierbij ontstaan zijn hydroxyatrazine, desethylatrazine, desisopropylatrazine en desethyldesisopropylatrazine[1]. Wanneer eenmaal grondwater of oppervlaktewater bereikt wordt, vindt nauwelijks afbraak van atrazine plaats. In gewassen die groeien op met atrazine behandelde bodem zijn hydroxymetabolieten van atrazine gevonden.

Ten aanzien van de toxiciteit van atrazine kan gemeld worden dat er studies beschikbaar zijn waarin een verband wordt gelegd tussen atrazine-blootstelling en ovariumkanker[4], colonkanker[5] en non-Hodgkin's lymphoma[6]. Atrazine is geclassificeerd als mogelijk carcinogeen (groep 2A) door de IARC (International Agency for Research on Cancer)[4]. De mogelijke genotoxische activiteit van atrazine is controversieel. In de richtlijnen voor drinkwaterkwaliteit van de wereldgezondheidsorganisatie WHO wordt gesteld dat er geen overtui-

Samenvatting

Drinkwater werd in Limburg tot voor kort nagenoeg geheel betrokken uit grondwater. Water dat van nature in de bodem aanwezig is, wordt omhoog gepompt en gezuiverd tot drinkwater. Met name om de verdroging van de bodem tegen te gaan, wordt vanaf begin dit jaar ook oppervlaktewater als grondstof voor drinkwater gebruikt. Grondwater vormt thans nog de belangrijkste voorziening van drinkwater.
Bronnen zijn plaatsen waar een geconcentreerde natuurlijke uitvloeiing van grondwater optreedt, en vormen het overgangsmilieu van grondwater naar oppervlaktewater. Voorbeelden van deze bronnen zijn te vinden aan de randen van het Centraal Plateau tussen de Geul en de Geleenbeek in Zuid-Limburg. De samenstelling van deze bronnen is representatief voor de regionale samenstelling van het grondwater; de bronnen zijn daarom van belang voor de monitoring van grondwaterverontreinigingen. In een in 1992 uitgevoerd onderzoek werden in een aantal bronnen op het Centraal Plateau de tot de triazine groep behorende herbiciden atrazine, desethylatrazine (afbraakproduct van atrazine) en simazine en het herbicide bentazon aangetroffen in gehalten boven de grondwaternorm van 0.1 µg/l. In het hier beschreven vervolgonderzoek werd in voorjaar van 1997 een zestal bronnen opnieuw bemonsterd en geanalyseerd op het voorkomen van triazinen. In vier van de zes bronnen bleek het atrazinegehalte boven de norm van 0.1 µg/l te liggen en te zijn toegenomen ten opzichte van de metingen in 1992. Het nitraatgehalte van de onderzochte bronnen lag in alle gevallen boven de drinkwaternorm van 50 mg/l, en was in de meeste bronnen toegenomen ten opzichte van de metingen in 1992. Van de andere onderzochte anorganische componenten bleek het calciumgehalte nagenoeg gelijk te zijn en het kalium- en natriumgehalte iets hoger te zijn dan bij de metingen in 1992, maar in dezelfde orde van grootte te liggen. Het magnesiumgehalte van de onderzochte bronnen bleek ongeveer een factor twee te zijn toegenomen. De zware metalen lood, cadmium en koper werden in een aantal bronnen waargenomen, maar niet in concentraties boven de streefwaarde voor grondwater. Het zinkgehalte van één bron bleek boven de streefwaarde voor grondwater te liggen.

gend bewijs is dat atrazine genotoxische activiteit bezit[7]. In een onderzoek uitgevoerd door J. VanLeeuwen in Ontario, waarbij atrazine de meest aangetroffen verontreinigende stof was in 1300 waterputten, wordt echter gesteld dat atrazine aanzienlijke genotoxiciteit bezit. Hierbij wordt gerefereerd naar een aantal studies, waarin onder andere chromosoombeschadigingen in menselijke lymfocyten werden aangetoond bij een concentratie van 1 µg/ml[8-10].

Een probleem waarmee bij de normstelling voor milieucontaminanten soms onvoldoende rekening gehouden wordt, is het optreden van andersoortige effecten bij gelijktijdige blootstelling aan meerdere stoffen. Atrazine wordt vaak gebruikt bij gewasbescherming in combinatie met stikstof bevattende meststoffen. Hoge concentraties atrazine worden daarom vaak in grondwater of putwater aangetroffen in combinatie met hoge concentraties nitraat[11]. Hierbij speelt een rol dat de verticale en oppervlakte-verdelingen van atrazine in de bodem sterk geassocieerd zijn met die van nitraat-stikstof[11]. Indien putwater met hoge concentraties nitraat en atrazine als drinkwater geconsumeerd wordt, houdt de gelijktijdige blootstelling aan atrazine en nitraat het risico in van de vorming van het sterk genotoxische *N*-nitrosoatrazine. Van deze stof is bij een zeer lage concentratie van 0.1 ng/ml chromosoombeschadigingen in menselijke lymfocyten aangetoond[12]. In een studie is consumptie van putwater wat sterk verontreinigd was met nitraat en atrazine, gecorreleerd met toegenomen incidentie van non-Hodgkin's lymphoma[13].

Het Centraal Plateau van Zuid-Limburg

Sinds 1984 wordt het freatisch grondwater van het Centraal Plateau van Zuid-Limburg (ook bekend als het Plateau van Schimmert) bemonsterd in het kader van een onderzoek aan de Rijksuniversiteit Utrecht[14]. Het onderzoek betreft de relatie tussen het landgebruik en de samenstelling van het grondwater en is met name gericht op effecten van vermesting. In 1992 zijn 18 bemonsteringspunten onderzocht op het voorkomen van bestrijdingsmiddelen in het freatisch grondwater[15]. Ten behoeve van deze eerste verkenning heeft een selectie van de te bepalen stoffen plaatsgevonden op basis van het landgebruik, de gebruikte bestrijdingsmiddelen, hun transformatieproducten en het uitspoelingsgedrag. De selectie van de bemonsteringspunten vond plaats aan de hand van criteria zoals verdeling over het onderzoeksgebied, vermestingsindicatoren en gebruik van het grondwater als drinkwater.

Het Centraal Plateau is een centraal in Zuid-Limburg gelegen gebied met een plateaukarakter dat geaccentueerd wordt door het dal van de Geleenbeek in het noorden en het Geuldal in het zuiden. Het gebied is opgebouwd uit een aantal Maasterrassen die bedekt zijn met een pakket löss. Dit gebied is een hydrogeologische eenheid ten aanzien van het freatisch grondwater hetgeen betekent dat het freatisch grondwater alleen door het neerslagoverschot wordt gevoed, en dus geen laterale toestroming van grondwater plaatsvindt. Het grondwaterstromingspatroon kent een radiale opbouw en langs de randen van het Centraal Plateau ontspringen honderden bronnen. Zeer markant en bekend is het grote hellingbos tussen Bunde en Elsloo, het natuurgebied het Bunderbos dat zeer rijk is aan bronnen. De grondwaterstroming vindt hoofdzakelijk plaats in pakketten tertiaire zanden waarin kleilagen voorkomen die bepalend zijn voor de verticale stromingscomponent. Deels spelen de pleistocene zanden en grinden afgezet door de Maas een rol in de grondwaterbeweging.

Het Centraal Plateau is een uitgesproken landbouwgebied met een vrijwel gelijk areaal aan grasland en bouwland. De belangrijkste

Bronnummer	monstername:	april '97	juni '97	'92
10a		0.46	0.27	0.37
22		0.06	0.02	< 0.03
29		0.16	< 0.02b	< 0.03
37B		0.16	0.13	< 0.03
49		0.14	0.33	< 0.03
76		0.06	< 0.02	< 0.03

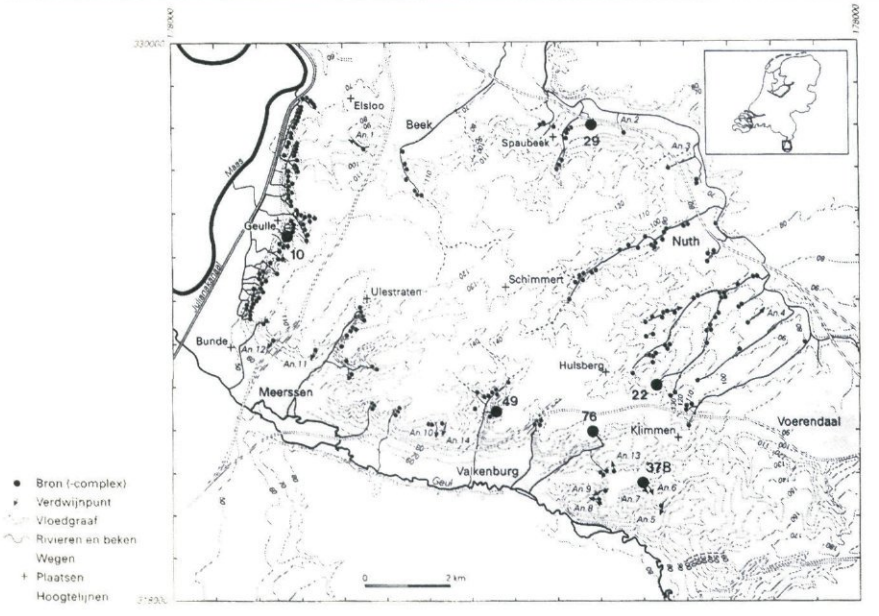
[a] puntbron of acrocrene: Klaasputje in Bunderbos

[b] beneden detectiegrens van 0.02 µg/l

Tabel 1. Atrazine-concentraties in bronnen van het Centraal Plateau van Limburg (µg/l)

Bronnummer	monstername:	april '97	juni '97	'92	'87
10		88	88	73	66
22		91	91	82	65
29		74	78	80	52
37B		149	148	136	142
49		180	200	174	155
76		95	97	85	88

Tabel 2. Nitraatconcentraties in bronnen van het Centraal Plateau van Limburg (mg/l)



Parameter	eenheid	Bronnummer 10	22	29	37B	49	76
calcium 4-'97[a]	mg/l	138	102	146	141	148	113
calcium 6-'97[b]	mg/l	146	105	152	142	166	114
calcium '92[c]	mg/l	149	96	158	139	183	127
calcium '87[d]	mg/l	123	99	150	154	180	136
magnesium 4-'97	mg/l	20.8	15.4	24.4	17.1	22.5	19.1
magnesium 6-'97	mg/l	21.2	14.0	22.6	15.8	21.8	18.3
magnesium '92	mg/l	11.5	10.0	11.0	10.2	11.1	10.3
magnesium '87	mg/l	17.2	11.1	18.4	12.8	18.8	14.8
kalium 4-'97	mg/l	2.2	0.9	1.5	37.8	2.8	1.2
kalium 6-'97	mg/l	2.4	0.8	1.1	38.0	2.0	0.7
kalium '92	mg/l	1.6	0.6	1.0	36.8	1.6	0.9
kalium '87	mg/l	1.9	0.6	1.2	39.0	2.2	0.9
natrium 4-'97	mg/l	14.6	13.6	16.0	32.6	33.4	16.2
natrium 6-'97	mg/l	17.0	12.0	15.0	35.0	30.0	12.2
natrium '92	mg/l	11.2	11.0	10.7	33.7	25.2	11.4
natrium '87	mg/l	10.5	9.9	9.1	36.3	25.6	12.1
zink 4-'97	mg/l	nd[e]	0.069	0.238	nd	nd	nd
zink 6-'97	mg/l	0.011	nd	0.668	nd	0.038	nd
lood 4-'97	ng/l	nd	7.1	11.4	nd	nd	nd
lood 6-'97	ng/l	nd	7.6	25.9	nd	nd	nd
cadmium 4-'97	ng/l	nd	nd	0.09	nd	0.13	nd
cadmium 6-'97	ng/l	0.09	nd	0.10	nd	nd	nd
koper 4-'97	ng/l	3.5	28.3	34.7	1.9	16.5	1.9
koper 6-'97	ng/l	4.9	4.7	36.9	9.0	33.6	1.7
pH 4-'97		6.3	7.2	6.6	6.3	6.2	6.3
pH 6-'97		6.4	6.8	6.6	6.3	6.3	6.3
pH '92		7.4	6.9	7.5	7.0	7.1	7.4
pH '87		7.2	7.0	7.4	7.0	6.8	7.5

[a] 4-'97: monstername april 1997
[b] 6-'97: monstername juni 1997
[c] '92: monstername 1992
[d] '87: monstername 1987
[e] nd: < detectielimiet

Tabel 3. Concentraties metalen in bronnen van het Centraal Plateau van Limburg

verbouwde gewassen zijn wintertarwe, suikerbieten en snijmaïs. Plaatselijk komt intensieve fruitteelt voor. Maastricht-Aachen Airport (voorheen vliegveld Zuid-Limburg) ligt in het westelijk deel van het Centraal Plateau.

Bemonstering bronnen en analysemethoden

In het hier beschreven onderzoek werd een aantal bronnen van grondwater op het Centraal Plateau van Zuid-Limburg geanalyseerd op de aanwezigheid van atrazine, nitraat en een aantal andere parameters. Het doel van het onderzoek was de bronnen te analyseren op atrazinegehalte, met name of dit boven de grondwaternorm van 0.1 µg/l ligt, en veranderingen ten opzichte van het onderzoek uitgevoerd in 1992 waar te nemen. Bijzondere aandacht werd besteed aan het gelijktijdig voorkomen van hoge concentraties nitraat en atrazine in de bronnen. Tevens werd het gehalte aan zware metalen in de bronnen bepaald.

Op twee tijdstippen in voorjaar 1997 (eind april en eind juni) werden op zes plaatsen op het Centraal Plateau grondwaterbronnen bemonsterd (zie kaartje). De twee tijdstippen werden gekozen om mogelijke seizoensvariatie te bestuderen. Onder de onderzochte bronnen bevinden zich drie bronnen waarin in het onderzoek in 1992 bestrijdingsmiddelen waren aangetroffen boven de detectiegrens. Eén bron is een puntbron van grondwater of acrocrene gelegen in het Bunderbos; de andere vijf bronnen zijn waterputten waarvan er één nog als drinkwater voor de bewoners wordt gebruikt; de andere putten worden eventueel als drinkwater voor het vee gebruikt of voor het besproeien van een moestuin. Eén liter bronwater werd verzameld in bruine glazen flessen. Bij aankomst op het laboratorium werd in een gedeelte van het monster de pH bepaald en voor de analyse van zware metalen de pH met 65 procent HNO_3 op kleiner dan twee gesteld. De monsters werden verder bewaard bij 4°C in het donker. Een standaardmengsel van de triazine-herbiciden atrazine, propazine, simazine, terbutryn en prometryn en van het herbicide bentazon werd gebruikt bij de analyse van de bronnen (Sigma-Aldrich Chemie bv. in Zwijndrecht).

Als voorbehandeling van de monsters voor de HPLC-analyse werd een vaste fase extractie uitgevoerd op SepPak C-18 cartridges (Waters) om de watermonsters te zuiveren (scheiding van polaire stoffen) en te concentreren[16,17]. Fracties van 10 ml bronwater werden hiertoe over de cartridge geleid gevolgd door elutie met 4 ml acetonitril, indampen van het monster en oplossen in 100 µl acetonitril. Er werden telkens 100 ml fracties van de bronnen geanalyseerd. De analyse op atrazine en andere triazines in de voorbewerkte monsters vond plaats met behulp van een reversed phase HPLC-analyse[17,18]. Als kolom werd gebruikt een Hypersil 4,6 mm x 150 mm ODS Phase Sep Analytical Column (Phase Separation bv. in Waddinxveen). UV-detectie werd uitgevoerd met behulp van een SPD-6A UV-Spectrophotometric Detector bij 230 nm. Gradiëntelutie werd uitgevoerd met 90 procent acetonitril/10 procent water (eluens A) en 100 procent acetonitril (eluens B) en een pompsnelheid van 1 ml/min met behulp van het volgende tijdsprogramma: 0-2 min: 70 procent A en 30 procent B; 2 min: injectie monster; 2-35 min: 70 procent A en 30 procent B; 35-37 min: 20 procent A en 80 procent B; 37-38 min: 70 procent A en 30 procent B. Deze methode gaf een goede scheiding van de zes standaarden en een detectiegrens van 0.02 µg/l voor atrazine, dus beneden de grondwaternorm van 0.1 µg/l. Identificatie van atrazine in de bronnen vond plaats op grond van retentietijd en spiking met atrazine standaard. Het nitraatgehalte van de bronnen werd bepaald door middel van een HPLC-methode met gebruik van anionenwisselaarchromatografie[19]. Het gehalte aan de metalen calcium, magnesium,

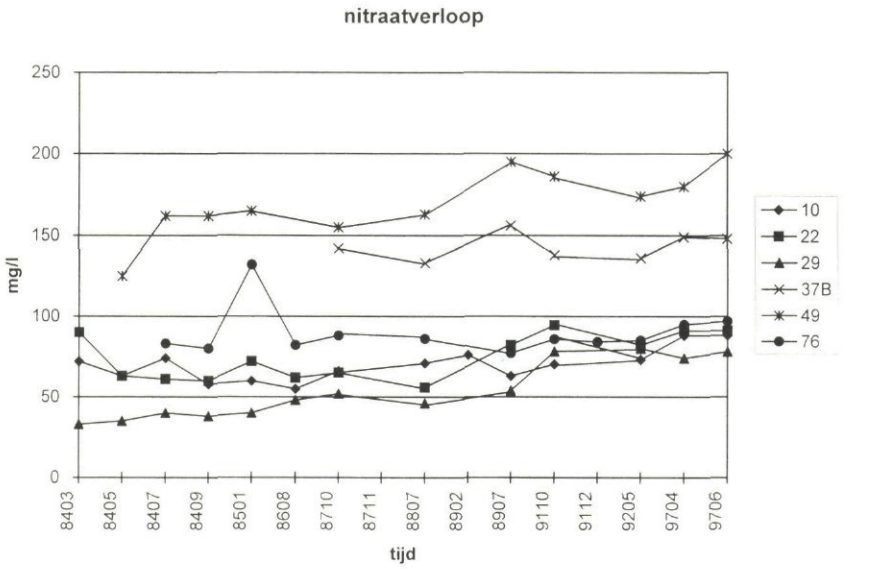
kalium, natrium, zink, lood, cadmium en koper in de bronnen werd bepaald door middel van atomaire absorptie spectrometrie (Varian Spectra 400 Zeeman).

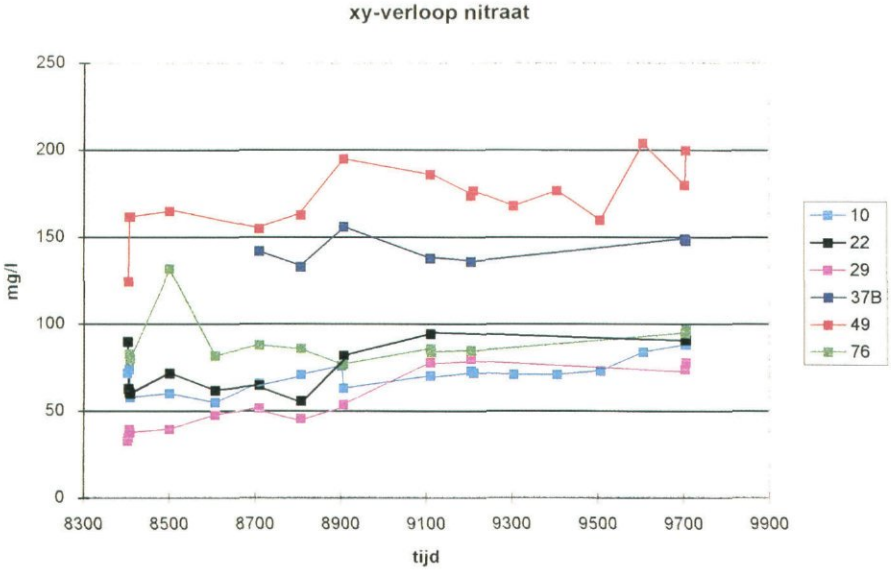
De tabellen 1-3 tonen de concentraties atrazine, nitraat en acht metalen in de zes bronnen voor de monsternames uitgevoerd in april 1997 en juni 1997 en in het vorige onderzoek in 1992. De zware metalen zink, lood, cadmium en koper zijn alleen bepaald in de bronnen die in 1997 bemonsterd zijn. Voor een aantal parameters zijn ook de gegevens van metingen in dezelfde bronnen in 1987 weergegeven.

Resultaten en conclusies

Uit de HPLC-analyses van de bronwaters bleek atrazine in alle zes bronnen voor te komen. De andere geanalyseerde triazines en bentazon werden niet aangetroffen. Bij de eerste monstername in april 1997 bleek het atrazinegehalte van vier van de zes bronnen boven de grondwaternorm van 0.1 µg/l uit te komen. In alle gevallen werd er een stijging waargenomen ten opzichte van het atrazinegehalte dat gemeten was in dezelfde bronnen in 1992, waarbij bronnummer 10 (gelegen in het Bunderbos) wederom het hoogste atrazinegehalte bevatte. In vijf van de bronnen was in 1992 geen atrazine boven de detectiegrens van 0.03 µg/l waargenomen. Bij de tweede monstername in juni 1997 bleek het atrazinegehalte ten opzichte van de eerste meting in april in vijf bronnen een lichte daling te vertonen en in één bron gestegen te zijn. In vergelijking met de monstername in 1992 blijft de stijging van het atrazinegehalte echter merkbaar. De toename in atrazine concentraties ten opzichte van de metingen in 1992 wijst erop dat atrazine nog steeds veelvuldig wordt toegepast, en mogelijk in toenemende mate. De hoogst gemeten concentratie atrazine in bron 10 was 0.46 µg/l, een overschrijding van de grondwaternorm met een factor 4.6. Hierbij moet wel aangetekend worden dat de streefwaarde voor atrazine in grondwater 0.0075 µg/l is[2]; dus de overschrijding van de streefwaarde bedraagt in dit geval een factor 61. De nitraatconcentraties van de zes bronnen liggen alle boven de grondwaternorm van 50 mg/l, met uitschieters van 150 en 200 mg/l. De nitraatconcentraties van de twee verschillende monsternames van april en juni 1997 blijken in vijf van de zes bronnen ongeveer gelijk te zijn. Indien het verloop van de nitraatconcentraties van de zes bronnen vanaf 1984 met een aantal meetpunten in kaart gebracht wordt, blijken de nitraatconcentraties een geleidelijke stijging te vertonen (zie afbeelding). Op een aantal plaatsen zijn de nitraatgehalten nog zeer hoog (200 mg/l). De gemeten pH waarden zijn constant voor de twee monsternames in 1997, maar over het algemeen lager dan bij de metingen in 1992. De analyses van de metalen in de bronnen laten zien dat het calciumgehalte ongeveer gelijk is, en de kalium- en natriumgehalten iets hoger zijn dan bij de metingen in 1992. Het kaliumgehalte van één bron (no. 37) blijkt sterk te verschillen van dat van de andere bronnen en boven de drinkwaternorm van 12 mg/l te liggen. De hardheid van de bronwaters blijkt uit de hoge gehalten calcium en magnesium. Het calciumgehalte van twee bronnen ligt bij de tweede meting in 1997 boven de drinkwaternorm van 150 mg/l. Een duidelijk verschil trad op voor de magnesiumgehalten, die ongeveer met een factor twee bleken te zijn toegenomen ten opzichte van de metingen in 1992, maar onder de drinkwaternorm van 50 mg/l blijven. Een hoog magnesiumgehalte bij gebruik als drinkwater hoeft echter niet schadelijk te zijn voor de gezondheid, daar er juist een verband lijkt te bestaan tussen minder magnesium in drinkwater en het voorkomen van hart- en vaatziekten; 6-10 mg/l magnesium in drinkwater blijkt 10 procent afname van hartvaatsterfte en sterfte aan ischemische hartziekte te veroorzaken[20]. Bovendien blijkt er in de westerse wereld een tekort te zijn in het lichaam aan magnesium. Voeding blijkt echter veel meer bij te dragen aan de inname van magnesium dan drinkwater. De zware metalen lood, cadmium en koper werden in een aantal bronnen waargenomen, maar niet in concentraties boven de streefwaarde voor grondwater. Het zinkgehalte van één bron bleek boven de streefwaarde van 150 µg/l voor grondwater te liggen. Een van de vijf bemonsterde waterputten bleek nog als drink-

Afb.1 Nitraatverloop





water door de bewoners gebruikt te worden. Bij de eerste meting in 1997 in het drinkwatermonster bleek zowel het nitraatgehalte als het atrazinegehalte boven de drinkwaternorm van 50 mg/l respectievelijk 0.1 µg/l uit te komen; bij de tweede meting lag het atrazinegehalte beneden de norm van 0.1 µg/l. Indien de nitraat- en atrazineconcentraties van de twee metingen worden gecorreleerd, blijkt er echter geen significant verband tussen te bestaan. Bij de tweede meting blijkt het beste verband te worden gevonden (r^2 = 0.44; p=0.15). Over de gezondheidsrisico's voor blootstelling aan atrazine kan nog vermeld worden dat de WHO een TDI waarde (tolerable daily intake, de maximaal toelaatbare dagelijkse orale inname) voor atrazine heeft opgesteld van 0.5 µg/kg lichaamsgewicht per dag, gebaseerd op een NOAEL (no adverse observed effect level) van 0.5 mg/kg lichaamsgewicht/dag in de rat en een onzekerheidsfactor van 1000 (100 voor intra- en interspecies variaties en 10 voor potentiële carcinogeniteit). Met een 10 procent toekenning van de TDI aan drinkwater, is een guideline value van 2 µg/l berekend[7]. De in Nederland gehanteerde norm voor atrazine (en andere afzonderlijke bestrijdingsmiddelen) in drinkwater is echter nog steeds 0.1 µg/l; dit is de detectiegrens voor triazines van begin jaren tachtig[3].

LITERATUUR

1) Koskinen, W.C. and Clay, S.A. (1997). Factors affecting atrazine fate in North Central U.S. soils. Contam. Toxicol. 151, 117-165.

2) Ordelman, H.G.K., van Noort, P.C.M., van Steenbergen, J.M., ten Hulscher, T.E.M. and Evers, H.G. (1993). Triazinen. Watersysteemverkenningen 1996, een analyse van de problematiek in aquatisch milieu. RIZA-nota nr. 93.036, DGW/RIKZ rapport 93.050.

3) Teunissen-Ordelman, H.G.K. (1995). Watersysteemverkenningen Stofstudies: een analyse van de problematiek van minder bekende stoffen in het aquatisch milieu. H_2O 28, 639-655.

4) Donna, A., Crosignani, P., Robutti, F., Giacomo Betta, P., Bocca, R., Mariani, N., Ferrario, F., Fissi, R. and Berrino, F. (1989). Triazine herbicides and ovarian epithelial neoplasms. Scand. J. Work Environ. Health 15, 47-53.

5) Hoar S.K., Blair, A., Holmes, F.F., Boysen, C. and Robel, R.J. (1985). Herbicides and colon cancer. The Lancet, 1, 1277-1278.

6) Hoar S.K., Blair, A., Holmes, F.F., Boysen, C.D., Robel, R.J., Hoover R. et al. (1986). Agricultural herbicide use and risk of lymphoma and soft tissue sarcoma. J. Am. Med. Assoc. 256, 1141-1147.

7) WHO. (1996). Guidelines for drinking-water quality. Volume 2. Health criteria and other supporting information. WHO, Geneva, 1996, p.611.

8) Meisner, L.F., Belluck, D.A. and Roloff, B.D. (1992). Cytogenetic effects of alachlor and/or atrazine in vivo and in vitro. Eviron. Mol. Mutagen. 19, 77-82.

9) Dunkelberg, H., Fuchs, J., Hengstler, J.G., Klein, E., Oesch, F. and Ströder, K. (1994). Genotoxic effects of the herbicides alachlor, atrazine, pendimethaline, and simazine in mammalian cells. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 52, 498-504.

10) Kross, B.C., Vergara, A. and Raue, L.E. (1992). Toxicity assessment of atrazine, alachlor, and carbofuran and their respective environmental metabolites using microtox. J. Toxicol. Environ. Health 37, 149-159.

11) Ritter, W.F. (1990). Pesticide contamination of ground water in the United States - A review. J. Environ. Sci. Health B25, 1-29.

12) Meisner, LF., Roloff, B.D. and Belluck, D.A. (1993). In vitro effects of N-nitrosoatrazine on chromosome breakage. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 24, 108-112.

13) Weisenburger, D.D. (1990).Environmental epidemiology of non-Hodgkin's lymphoma in Eastern Nebraska. Am. J. Ind. Med. 18, 303-305.

14) Hendrix, W.P.A.M. (1985). Het grondwater van het Centraal Plateau. Publicatie van het Geografisch Instituut der Rijksuniversiteit Utrecht. Utrecht.

15) Kragt, J.F. en Hendrix, W.P.A.M. (1993). Het voorkomen van bestrijdingsmiddelen in het freatisch grondwater van het Centraal Plateau. Rapport van de N.V. Waterleidingmij Limburg (WML 46040ZJK.93). Maastricht.

16) Nash, R.G. (1990). Solid-phase extraction of carbofuran, atrazine, simazine, alachlor and cyanazine from shallow well water. NASH: J. Assoc. Off. Anal. Chem. 73, 438-442.

17) Balinova, A. (1993). Solid-phase extraction followed by high-performancee liquid chromatographic analysis for monitoring herbicides in drinking water. J. Chomatogr. 643, 203-207.

18) Bushway, R.J., Hurst, H.L., Perkins, L.B., Tian, L., Guiberteau Cabanillas, C., Young, B.E.S., Ferguson, B.S. and Jennings, H.S. (1992). Atrazine, alachlor, and carbofuran contamination of well water in Central Maine. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 49, 1-9.

19) Van Maanen, J.M.S., Van Geel, A.A. and Kleinjans, J.C.S. (1996). Modulation of nitrate-nitrite conversion in the oral cavity. Cancer Detect. Prevent. 20, 590-596.

20) Gezondheidsraad (1975). Advies inzake centrale waterontharding. Advies van de Gezondheidsraad nr. 37.