

Effecten van atmosferische depositie op de chemische samenstelling van grondwater onder bos

1. Inleiding

De algemene gedachte is dat onder bos een goede kwaliteit grondwater wordt aangetroffen. In hoeverre deze mening juist is, valt nog te bezien. Zo zijn er enkele publikaties die wijzen op hoge nitraatconcentraties als gevolg van atmosferische depositie [Van Beek *et al.*, 1987, Oosterom en Van Schijndel, 1979].



J. MULDER
Landbouwniversiteit
Wageningen, Vakgroep
Bodemkunde en Geologie



C. G. E. M. VAN BEEK
KIWA NV



H. A. L. DIERX
NV Waterleidingmaatschappij
Oostelijk Gelderland *

Andere verschijnselen die met atmosferische depositie samenhangen zijn verzuring en depositie van anorganische microparameters [RIVM, 1988]. Tot nu toe is veel aandacht besteed aan de effecten van verzuring tussen maaiveld en grondwaterspiegel, dat wil zeggen het bodemvocht in de wortelzone [Van Breemen *et al.*, 1988, Mulder, 1988, Krajenbrink *et al.*, 1988, Van Grinsven, 1988] en veel minder aan het grondwater [Appelo, 1982, Hoeks, 1983, Krajenbrink *et al.*, 1988]. Daarom is oriënterend onderzoek uitgevoerd naar het ondiepe grondwater onder bos op een drietal lokaties in de omgeving van het puttenveld 't Klooster, nabij Hengelo (Gelderland), van de NV Waterleidingmaatschappij Oostelijk Gelderland. De doelstellingen van het onderzoek omvatten de chemische karakterisering van de verzuringseffecten, het vaststellen van de positie van het 'zuurfront' in het grondwater en van het verband tussen de chemische samenstelling van het grondwater en van de vaste fase. Bovendien is op één van de lokaties de ruimtelijke variabiliteit van de chemische samenstelling van het grondwater nader beschouwd.

2. Uitvoering

De onderzochte lokaties zijn gelegen in

*Thans: Graduate School of Business Administration, University of Washington, Seattle, WA, USA

Samenvatting

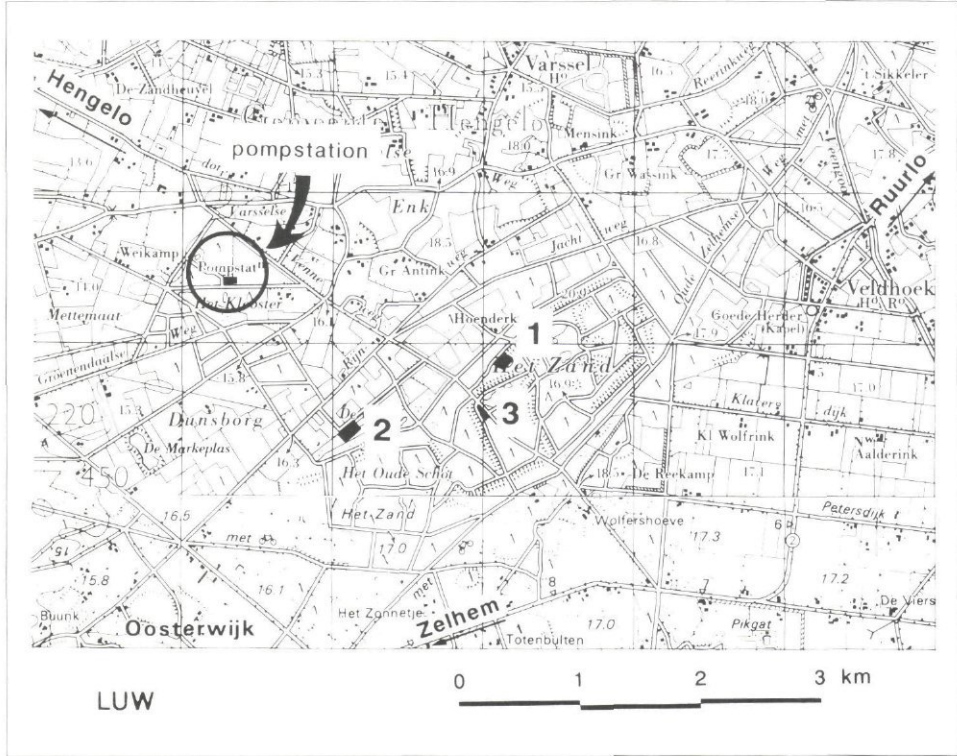
Oriënterend onderzoek naar de effecten van verzuring op de grondwaterkwaliteit onder bos gaf aan dat op meerdere van de onderzochte drie lokaties meerdere parameters de Maximaal Toelaatbare Concentratie volgens het Waterleidingbesluit overschrijden. Afhankelijk van de samenstelling van de bodem betreft dit onder andere nitraat, sulfaat, calcium, aluminium en zink. Dit duidt er op dat ook voor grondwater afkomstig van bos een aanvullende zuivering voor de bereiding van drinkwater noodzakelijk zou kunnen zijn. De resultaten van het onderzoek geven daarom het belang aan van nader onderzoek ter karakterisering van de chemische samenstelling van het bovenste grondwater onder bos.

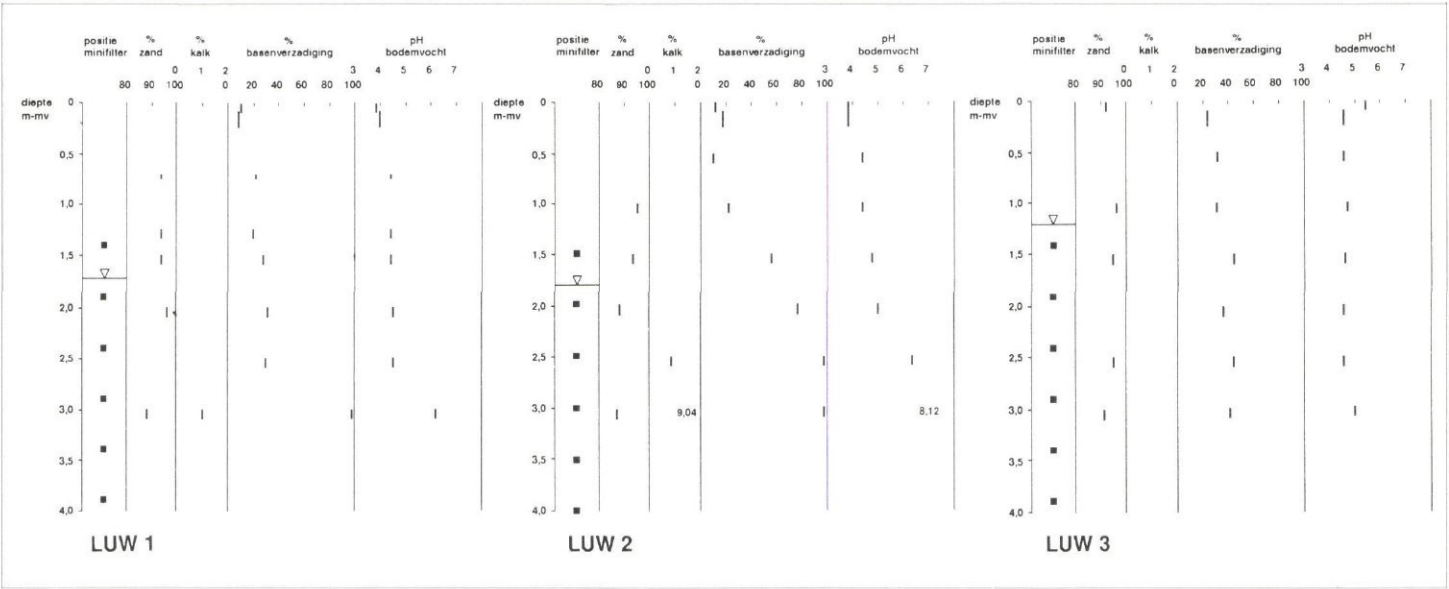
Op één van de onderzochte lokaties bleek een grote ruimtelijke variabiliteit in de chemische samenstelling van het grondwater aanwezig. Hiermee moet met de uitvoering van onderzoek ter karakterisering van de chemische samenstelling van grondwater rekening worden gehouden.

een drietal percelen in een bosgebied dat 't Zand wordt genoemd; twee percelen zijn gelegen aan de voet en één perceel wat hoger op 't Zand, zie afb. 1. Twee percelen waren voordien betrokken bij een onderzoek uitgevoerd door de Stichting voor Bodemkartering, Stiboka [Kleijn *et al.*, 1988, LUW1 = nr. 8, LUW2 = nr. 7] en twee percelen bij een onderzoek uitgevoerd door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, ICW [Van der Bolt *et al.*, 1990, LUW2 = nr. 7, LUW3 = nr. 6]. Op de betrokken lokaties zijn minifilterputten geplaatst, ieder bestaande uit zes minifilters op een onderlinge verticale afstand van 0,5 meter. Om er zeker van te zijn dat ook bij wisselende grondwater-

standen het bovenste grondwater zou worden bemonsterd, werden de minifilters geplaatst tot boven de grondwaterspiegel. De diepte van de minifilterput was zodanig gekozen dat met enige waarschijnlijkheid de overgang van verzuurd naar niet-verzuurd grondwater, het 'zuurfront', binnen het traject bestreken door de minifilters zou zijn gelegen. Tijdens de aanleg van de minifilterputten zijn grondmonsters genomen, waarvan de vaste fase uitvoerig is onderzocht. Om er zeker van te zijn dat na de aanleg van de putten de onderzochte monsters grondwater representatief zouden zijn, zijn de putten tweemaal bemonsterd, namelijk enkele maanden na aanleg en vervolgens weer na enkele maanden [Stuyfzand,

Afb. 1 - Lokaties van het onderzoek in het bosgebied 't Zand in de omgeving van pompstation 't Klooster (WOG) te Hengelo (Gelderland).





Afb. 2 - Verloop van enkele kenmerken van de vaste fase met de diepte (▽: diepte van de grondwaterspiegel).

1983]. De resultaten van deze chemische analyses waren vergelijkbaar, waaruit is afgeleid dat zich rond de putten inderdaad evenwicht had ingesteld.

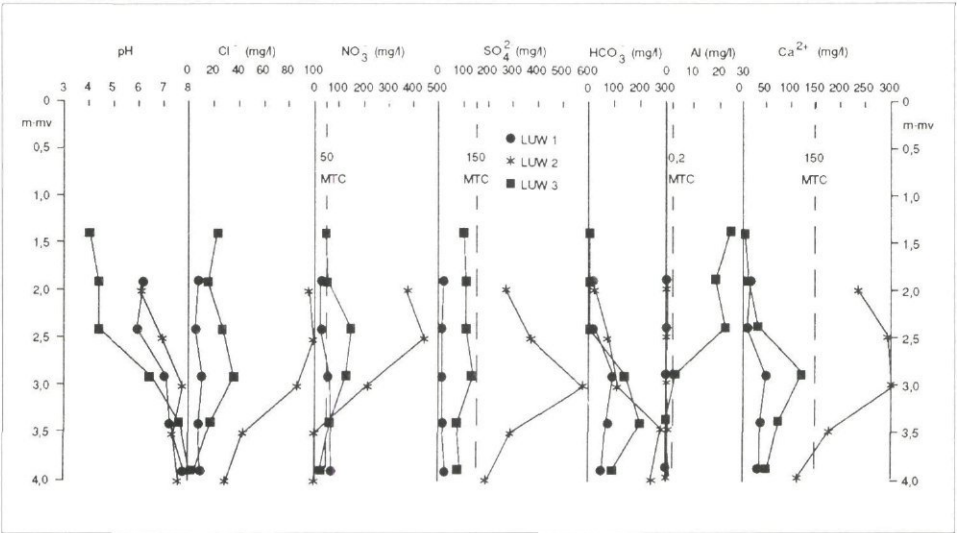
3. Beschrijving van het gebied

De geologische opbouw bestaat uit circa vier meter dekzand (formatie van Twente) op circa tien meter dikke fluviatiele kalkbevattende zanden (formatie van Kreftenheije). Lokaal komen op het dekzand stuifzanden voor (formatie van Kootwijk). Enige informatie over de onderzoekslokaties is in tabel I samengevat.

4. Resultaten

Afb. 2 toont de resultaten van enkele analyses uitgevoerd aan de vaste fase, zoals het percentage zand, het percentage kalk en de basenverzadiging (gedeelte van het adsorptiecomplex ingenomen door natrium, kalium, calcium en magnesium; het restant wordt ingenomen door waterstof en aluminium; ammonium bleek verwaarloosbaar). Ook is een maat voor de zuurgraad van het bodemvocht gegeven (pH-H₂O: zuurgraad van een grondmonster, 1:2,5 verdund met gedestilleerd water). Om een vergelijking met de chemische samenstelling van het grondwater mogelijk te maken zijn in afb. 3 de pH en de concentratie van aluminium en ook de concentraties van verschillende andere chemische parameters in het grondwater samengevat.

Afb. 3 - Verloop van de concentratie van de aangegeven parameters in het grondwater met de diepte. Tevens is de Maximaal Toelaatbare Concentratie (MTC) volgens het Waterleidingbesluit (1984) aangegeven.



5. Discussie

5.1. Verzuring

Uit afb. 2 blijkt dat alle bodems zeer zandig zijn, maar dat de zandfractie met de diepte afneemt. Van zeer groot belang is dat de onderzochte bodems dieper dan 2,5 à 3 meter minus maaiveld (m-mv) kalk bevatten. Gezien de verdeling van zware mineralen over het profiel is het waarschijnlijk dat deze bodems oorspronkelijk tot aan het maaiveld kalk hebben bevat en in de loop van de tijd tot deze diepte zijn uitgeleegd.

Opvallend is de lage basenverzadiging, 10 à 30% van het complex. Dit geeft aan dat de bodem sterk is verzuurd. Echter zodra kalk in de bodem aanwezig is, is de basenverzadiging 100%. De pH gemeten in het bodemextract loopt grotendeels parallel met de mate van basenverzadiging. In ons onderzoek is een vloeiend verloop van de basenverzadiging en de pH over de grondwaterspiegel gevonden. In het onderzoek van Krajenbrink *et al.*, [1988] werden vaak grote verschillen in chemische samenstelling tussen het bodemvocht op 1,2 m-mv en het grondwater op 8 à 10 m-mv gemeten. Deze verschillen werden toegeschreven aan de buffercapaciteit van de onverzadigde zone, aan de ouderdom van het bos en aan het vóórkomen van open plekken in het bos, die lokaal op de

TABEL I - Informatie over moedermateriaal en vegetatie ter plaatse van de minifilterputten.

Locatie	Maaiveldhoogte (m + NAP)	Geologische formatie	Moedermateriaal	Vegetatie
LUW1	circa 17	Twente	dekzand	Douglas den
LUW2	circa 17	Twente	dekzand	Douglas den
LUW3	circa 19	Kootwijk	stuifzand	grove den

chemische samenstelling een verdunnend effect hebben.

De pH van het grondwater neemt met de diepte toe. Dit verloop wordt bevestigd door dat van de basenverzadiging, die ook met de diepte toeneemt, en van de concentratie van aluminium, die met de diepte afneemt. Vooral bij pH = 4 worden hoge Al-concentraties gevonden. Opvallend is het verschil in pH tussen enerzijds LUW3, geplaatst in de formatie van Koorwijk (stuifzand) en LUW1 en LUW2, gelegen in de formatie van Twente (dekzand).

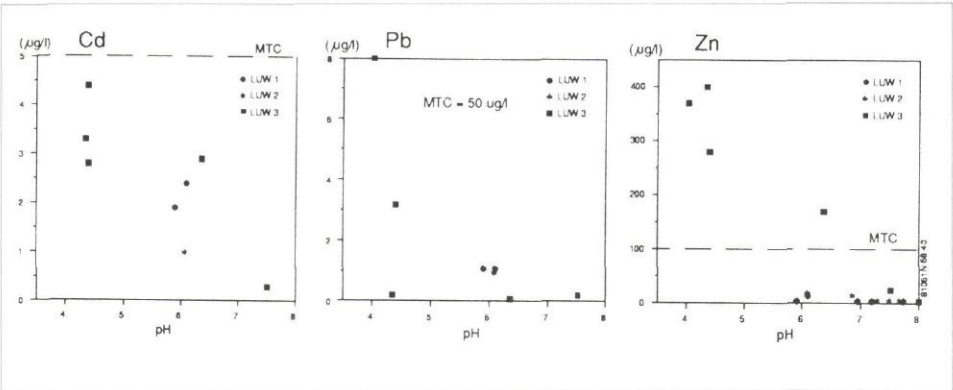
Uit afb. 2 blijkt ook dat de diepte tot waar de verzuring is voortgeschreden, het 'zuurfront', uit de basenverzadiging kan worden afgelezen, of eventueel uit de pH of de Al-concentratie van het grondwater. De snelheid waarmee het 'zuurfront' zich verplaatst is in principe omgekeerd evenredig met de zuurneutralisatiecapaciteit, mits deze uit snel verwerende mineralen zoals kalk bestaat.

Uit het verschijnen van waterstofcarbonaat (en van calcium) blijkt de aanwezigheid van kalk, zie afb. 3. Ook geeft berekening aan dat het grondwater verzadigd is met betrekking tot kalk. Door de aanwezigheid van kalk ondiep in de bodem wordt een grote verzuring van het grondwater voorkomen. Op kalkrijke gronden betekent een toename in de concentratie van de hardheid het eerste signaal van verzuring.

5.2. Nitraat

Het verloop van de concentraties met de diepte, zie afb. 3, laat grote verschillen tussen de drie profielen zien. Het verschil in chlorideconcentratie kan samenhangen met een verschil in neerslagoverschot. Daarnaast kan een verschil in droge depositie van stofdeeltjes, die onder andere zeezout bevatten, belangrijk zijn [Appelo, 1988]. De concentraties van nitraat, sulfaat en calcium vertonen hetzelfde verschil in niveau tussen de lokaties. Depositie van ammoniumsulfaat vormt de meest voor de hand liggende oorzaak voor de hoge concentraties van nitraat en sulfaat. Het zuur dat bij de oxydatie van ammonium vrijkomt wordt geneutraliseerd door de aanwezige kalk, wat resulteert in een hoge concentratie van calcium.

Met toenemende diepte vertoont de concentratie van nitraat een afname. De aanwezigheid van een maximum in de concentratie van sulfaat kan op het optreden van denitrificatie onder invloed van sulfiden duiden. Toch kan de afname van de concentratie hieraan niet volledig worden toegeschreven aangezien de concentraties van chloride, sulfaat en



Afb. 4 - Verloop van de concentratie van enkele zware metalen als functie van de zuurgraad (pH).

calcium een vergelijkbaar verloop vertonen.

Ook is in afb. 3 de Maximaal Toelaatbare Concentratie volgens het Waterleidingbesluit (1984) aangegeven. Vergelijking geeft aan dat in alle profielen de MTC voor nitraat wordt overschreden en in LUW2 ook de MTC voor sulfaat en calcium. Deze resultaten bevestigen het al bestaande vermoeden dat de chemische samenstelling van het grondwater onder bos voor de waterleidingbedrijven niet (meer) kan dienen om van elders toestromend verontreinigd grondwater te verdunnen. Aangezien binnen Nederland gebieden voorkomen met een grotere atmosferische zuurdepositie dan in de Achterhoek, mag verwacht worden dat deze verschijnselen daar in nog sterkere mate kunnen optreden.

Uit afb. 1 blijkt dat het gebied 't Zand aan alle kanten wordt omgeven door landbouwgronden, waarop drijfmest wordt uitgereden. In hoeverre randeffecten [Ministerie VROM, 1987] hebben bijgedragen aan de waargenomen concentraties kon in dit oriënterend onderzoek niet worden nagegaan.

5.3. Zware metalen

Afb. 4 toont de concentratie van cadmium, lood en zink als functie van de zuurgraad. Uit deze afbeelding blijkt dat de concentratie met afnemende pH toeneemt. Dit verschijnsel geeft nog geen

informatie over de herkomst van deze metalen. Dit kan zowel zijn verwerking van mineralen, waarin deze metalen als bijmenging kunnen voorkomen, als atmosferische depositie.

Ook is in afb. 4 de Maximaal Toelaatbare Concentratie volgens het Waterleidingbesluit (1984) gegeven. Vergelijking geeft aan dat voor zink de MTC wordt overschreden.

5.4. Ruimtelijke variabiliteit

De resultaten perceel LUW2 zijn voor de concentraties van chloride, sulfaat, calcium, maar in bijzonder voor nitraat in het grondwater buitengewoon. Daarom zijn op lokatie LUW2 de resultaten van het bovenste filter van de minifilterput vergeleken met de resultaten van het bovenste grondwater (bovenste 30 à 50 cm) verkregen uit vijftien boorgaten. De resultaten zijn in tabel II samengevat. Uitgaande van normale kansverdelingen voor de pH en het elektrisch geleidingsvermogen en lognormale kansverdelingen voor de overige parameters, vormen de gevonden waarden in LUW2 voor geen van de parameters uitbijters. Hierbij is tweezijdig op het 5% niveau getoetst. Wel is uit tabel II de aanwezigheid van een grote ruimtelijke variatie in de chemische samenstelling van het ondiepe grondwater duidelijk. Uit afb. 2 blijkt dat het 'zuurfront' en ook de bovengrens van de aanwezigheid van kalk zich ter plaatse

TABEL II - Variatie in de chemische samenstelling van het bovenste grondwater in het bos rond lokatie LUW2 (n = 15), vergeleken met de chemische samenstelling van LUW2 zelf.

Parameter	Rekenkundig gemiddelde	SA	LUW2
pH	4,78	0,78	6,1
Elektrisch geleidingsvermogen (EGV)	(mS/m)	75,1	28,0
Aluminium (Al)	(mg/l)	19,1	22,0
Kalium (K ⁺)	(mg/l)	2,65	2,96
Chloride (Cl ⁻)	(mg/l)	45,3	26,5
Nitraat (NO ₃ ⁻)	(mg/l)	182,9	99,3
Sulfaat (SO ₄ ²⁻)	(mg/l)	196,8	96,0
Waterstofcarbonaat (HCO ₃ ⁻)	(mg/l)	7,9	13,8

SA: standaard afwijking van de waarneming

van de grondwaterspiegel bevinden. Mogelijk kan de aangetroffen grote variabiliteit samenhangen met het samenvallen van de diepte van de grondwaterspiegel met de grens tussen aan- en afwezigheid van kalk of de diepte van het 'zuurfront'.

Ook is de aanwezigheid van een relatie tussen de chemische samenstelling van het bovenste grondwater en afstand tot de bomen nagegaan [Böttcher en Strebel, 1988]. Een dergelijke relatie bleek hier niet aanwezig.

6. Conclusies

Uit dit oriënterende onderzoek kunnen de volgende conclusies worden afgeleid:

- Onder bos worden in Oostelijk Gelderland in de wortelzone een lage zuurgraad en een lage basenverzadiging van het adsorptie complex aangetroffen.
- In het grondwater is de aard van de verzuring afhankelijk van de samenstelling van het bodemmateriaal. Zodra de bodem kalk bevat wordt de verzuring daardoor geneutraliseerd, waarbij calcium in oplossing gaat. Als er geen kalk aanwezig is, zal neutralisatie door aluminiumhydroxyden optreden, waarbij aluminium in oplossing gaat. De hoogte van de concentratie hangt samen met de mate van verzuring zoals grootte van de atmosferische depositie en evapotranspiratie.
- De diepte van het 'zuurfront' is afhankelijk van het aangelegde criterium en varieert tussen 1,5 en > 3 meter indien als criterium basenverzadiging = 50% en tussen 2 en > 3 meter indien pH = 5,5 wordt aangehouden.
- De concentratie van meerdere macroparameters overschrijdt in het bovenste grondwater de MTC volgens het Waterleidingbesluit (1984), het betreft onder andere nitraat op alle lokaties en sulfaat en calcium op één lokatie.
- Enige van de in het onderzoek onderzochte anorganische microparameters (zware metalen), zoals aluminium en zink overschrijden de MTC volgens het Waterleidingbesluit (1984).
- De concentratie van zware metalen neemt toe met lagere pH. De herkomst van deze metalen kan zeer verschillend zijn, namelijk verwerking van mineralen onder invloed van verzuring en/of atmosferische depositie waarbij deze metalen onder de heersende bodemchemische omstandigheden in oplossing blijven.
- De chemische samenstelling van het ondiepe grondwater blijkt ruimtelijk zeer variabel te zijn. Hiermee moet met de opzet van onderzoek en de interpretatie van resultaten rekening worden gehouden. In het beschreven onderzoek

kan de variabiliteit van het bovenste grondwater wellicht samenhangen met het samenvallen van de diepte van de grondwaterspiegel met de grens tussen de aan- en afwezigheid van kalk.

– Meerdere parameters in het grondwater onder bos overschrijden in één of meerdere van de onderzochte lokaties de MTC volgens het Waterleidingbesluit. Als dit op grote schaal het geval is, is de kwaliteit voor waterleidingbedrijven niet zodanig dat daarmee van elders toestromend verontreinigd grondwater kan worden verdund. Daarom is nader onderzoek naar de karakterisering van de grondwaterkwaliteit onder bos dringend noodzakelijk.

Verantwoording

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Stichting voor Technische Wetenschappen (STW) met steun van de NV Waterleidingmaatschappij Oostelijk Gelderland en KIWA in het kader van het VEWIN speurwerkprogramma.

Op deze publikatie is kritisch commentaar geleverd door dr. C. A. J. Appelo (VU), prof. dr. N. van Breemen (LUW), drs. G. J. W. Krajenbrink (WLO) en dr. F. G. Mulder (WOG).

Een uitgebreidere versie van het hier beschreven onderzoek is verkrijgbaar als KIWA-rapport SWE 90.015: 'Acidification of groundwater in forested sandy deposits in The Netherlands, due to acid atmospheric deposition'.

Literatuur

- Appelo, C. A. J. (1988). *Beïnvloeding van de waterkwaliteit in het Hierdense Beek gebied (Noord-West Veluwe)*. Vrije Universiteit. Instituut voor Aardwetenschappen, 94 p, 1 bijlage.
- Appelo, C. A. J. (1982). *Verzuring van het grondwater op de Veluwe*. H₂O 15 (18), 464-468.
- Beek, C. G. E. M. van (1987). *Landgebruik en kwaliteit van het ondiepe grondwater*, in: Beek, C. G. E. M. van (Ed): *Landbouw en Drinkwatervoorziening*. KIWA-Mededeeling 99, Nieuwegein.
- Böttcher, J. and Strebel, O. (1988). *Spatial variability of groundwater solute concentrations at the water table under arable land and coniferous forest, part 3: Field data for a coniferous forest and statistical analysis*. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 151, 197-203.
- Bolt, F. J. E. van der, Pankow, J., Roest, C. W. J. en Toorn, A. van den (1990). *De invloed van de stikstofhuishouding in de bodem op de grondwaterkwaliteit in waterwingebied 't Klooster*. Rapport 31, Staring Centrum, Wageningen, 33 p, 4 bijlagen.
- Breemen, N. van, Visser, W. J. F. and Pape, Th. (1988). *Biogeochemistry of an oak-woodland ecosystem in the Netherlands, affected by acid deposition*. Agr. Res. Rept. 930, PUDOC, Wageningen.
- Grinsven, J. J. M. van (1988). *Impact of acid atmospheric deposition on soils: Quantification of chemical and hydrologic processes*. Proefschrift, Vakgroep Regionale Bodemkunde en Geologie, Landbouwwuniversiteit Wageningen.
- Hoeks, J. (1983). *Verzuring van bodem en grondwater als gevolg van atmosferische depositie*. ICW Nota 1480.
- Kleijn, C. E., Zuidema, G. en Vries, W. de (1988). *De indirecte effecten van atmosferische depositie op de*

- vitaliteit van Nederlandse bossen, 2: De bodemvocht-samenstelling van 8 douglasopstanden*. Rapport 2050, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Krajenbrink, G. J. W., Ronen, D., Duijvenbooden, W. van, Magaritz, M. and Wever, D. (1988). *Monitoring of recharge water quality under woodland*. J. Hydr. 98, 83-102.
- Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (1987). *De problematiek van de verzuring (tussentijdse evaluatie verzuringsbeleid)*. Tweede Kamer der Staten-Generaal 18225, nr. 22.
- Mulder, J. (1988). *Impact of acid atmospheric deposition on soils: Field monitoring and aluminum chemistry*. Proefschrift, Vakgroep Regionale Bodemkunde en Geologie, Landbouwwuniversiteit Wageningen.
- Oosterom, H. P. en Schijndel, J. H. W. M. van (1979). *De chemische samenstelling van het bovenste grondwater bij natuurlijke begroeiingen op kalkarme zandgrond (maart 1978)*. ICW-Nota 1075.
- RIVM (1988). *Zorgen voor Morgen. Nationale milieuverkenning 1985-2010*. Samsom Tjeenk Willink, Alphen aan den Rijn, 456 p.
- Stuyfzand, P. J. (1983). *Belangrijke foutenbronnen bij bemonstering van grondwater via peil- en minifilters*. H₂O 16 (4), 87-94.
- Waterleidingbesluit (1984). Staatsblad nr. 220.

• • •

Symposium 'Natuurvisie Nederlandse Duinen'

De Stichting Duinbehoud organiseert een symposium 'Natuurvisie Nederlandse Duinen'. Het symposium wordt gehouden op 26 februari 1992 in de Statenzaal van de provincie Zuid-Holland in Den Haag. Tijdens het symposium wordt het concept van de 'Natuurvisie Nederlandse Duinen' gepresenteerd. De nadruk ligt hierbij op een discussie met de zaal. Van de deelnemers wordt een actieve bijdrage verwacht. Na het symposium zal de visie worden bijgesteld en aangeboden aan de staatssecretaris voor Natuurbeheer, drs. J. D. Gabor.

De Stichting Duinbehoud heeft begin 1991 een subsidie ontvangen van het ministerie van LNV voor het opstellen van een visie voor de Nederlandse duinen. In deze visie zal een toekomstbeeld worden geschetst (peiljaar 2020) voor het beleid, het beheer, de inrichting en het gebruik van de Nederlandse duinen. In de visie komen onderwerpen aan de orde als regeneratie van vochtige duinvalleien, dynamisch kustbeheer, natuurontwikkeling langs de binnenduinzoom, sluftervorming, verstuivingen, enzovoort.

De toegangsprijs voor het symposium is f 110,- (voor donateurs van SDB f 100,-). Opgave voor het symposium vindt plaats door overmaking van de toegangsprijs op giro 3505200 van de Stichting Duinbehoud te Leiden onder vermelding van 'Symposium Natuurvisie'. Nadere informatie: Stichting Duinbehoud, M. Jansen, Postbus 11059, 2301 EB Leiden, telefoon 071 - 13 1800.