



Verzuring en eutrofiëring van de Veluwe vanuit de lucht

KEES MEINARDI, RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEU (RIVM)

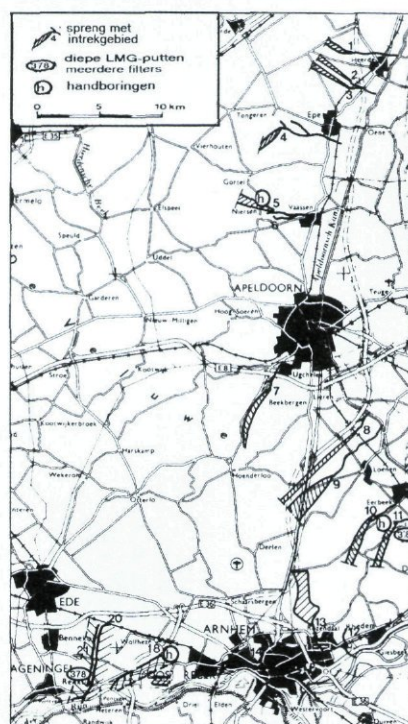
Hoe staat het met de verzuring en eutrofiëring van de Veluwe? In 1996 is onderzoek verricht naar de kwaliteit van het water van de sprengen, de in vroeger eeuwen gegraven waterlopen langs de oost- en de zuidrand van de Veluwe. Dit water is representatief voor het grondwater van de Veluwe. Het heeft een samenstelling die hoofdzakelijk wordt bepaald door de atmosferische neerslag. Gekeken is naar de verblijftijden van het grondwater dat door de sprengen wordt afgevoerd. Hieruit blijkt dat de concentraties nitraat toegenomen zijn van circa 0,3 mg.l⁻¹ voor 1950 tot 3 à 5 mg.l⁻¹ in de jaren 1990. Ze zullen in de komende eeuw verder toenemen tot ongeveer 10 mg.l⁻¹ als de huidige atmosferische neerslag niet verandert. De aangevoerde stikstof wordt voor circa 78 procent verwijderd door denitrificatie in de bodem; het grondwater voert circa 22 procent af naar de sprengen. De concentraties aan sulfaat zijn toegenomen van 10 tot ongeveer 20 mg.l⁻¹. Ze kunnen verder toenemen tot 30 mg.l⁻¹. De zuurgraad is afgenomen van circa 6,5 honderd jaar geleden tot gemiddeld 5,5 nu. Verwacht wordt dat de zuurgraad in de komende eeuw zal afnemen tot 4,5 bij ongewijzigde omstandigheden.

Eén van de moeilijke punten in de hydrologie is om uit te maken waar het grondwater dat is bemonsterd vandaan komt, hoe snel en in welke richting het stroomt en wat er onderweg mee is gebeurd. Deze kennis is nodig om het onderzoek naar de samenstelling van het water in de Veluwe sprengen te kunnen interpreteren. Sprengen zijn waterlopen die eeuwen geleden aangelegd werden om het grondwater te draineren. Ze zorgden voor de waterkracht om molens aan te drijven voor de plaatselijke nijverheid, zoals de papiermakerijen op de Veluwe in de 17^e eeuw. Die gebruikten overigens ook het schone water. Nu worden de sprengen nauwelijks meer gebruikt. Het centrale deel van de Veluwe is momenteel het grootste aaneengesloten natuurgebied in Nederland. De sprengen vormen daarin zeer waardevolle elementen.

Het doel van het onderzoek was om na te gaan hoe de kwaliteit van het water van de Veluwe verandert onder invloed van veranderingen in de atmosferische depositie, die de belangrijkste bron is voor de stoffen in het grondwater. De atmosferische depositie hangt af van de hoeveelheid en de samenstelling van het regenwater en van de droge depositie. Vanaf de jaren tachtig is de samenstelling van de regen regelmatig bepaald door het RIVM, later ook de droge depositie. Vóór die tijd zijn slechts incidentele metingen gedaan in Neder-

land, bijvoorbeeld in de jaren 1930 door de gemeente Amsterdam (Leeftang, 1938) en in de jaren 1970 door de Universiteit van Utrecht (Conrads en Buisman, 1973). Hieruit bleek dat de neerslag zuurder werd en dat de depositie

Afb. 1 De sprengen en hun intrekgebieden.



meer eutrofiërende stoffen ging bevatten, zoals stikstof- en zwavelverbindingen. Dit had vooral in natuurgebieden invloed op de vegetatie.

Het belang van het onderzoek uit 1996 is groter dan louter een beschouwing van de sprengen. De sprengen draineren een aanzienlijk deel van het grondwater uit de heuvels van de Veluwe (afbeelding 1) zodat het sprengwater een getrouw beeld geeft van het water in de bodem van dat gebied. Een groot voordeel is bovendien dat het onderzoek aanwijzingen oplevert over de verblijftijden van het bemonsterde water in de bodem. Dit maakt uitspraken mogelijk over de invloed van veranderingen van de atmosferische depositie in de tijd. De conclusies voor de Veluwe zijn ook van belang voor de kwaliteit van het water in andere natuurgebieden.

Het onderzoek naar veranderingen in het sprengwater rust op twee pijlers: eerder onderzoek uit 1986 op dezelfde plaatsen en het reeds genoemde onderzoek uit 1996, waarvan de resultaten zijn vergeleken. Beide onderzoeken maken het tevens mogelijk om de herkomst van het door de sprengen afgevoerde grondwater en de verdeling van de verblijftijden in de bodem te bepalen, waardoor een eenduidige relatie met de atmosferische depositie kan worden gelegd. Deze depositie komt vertraagd in de sprengen tot uiting. Voor het bepalen van de verblijftijd zijn de concentraties aan tritium gebruikt.

Vergelijking resultaten

De vergelijking van de waarnemingen aan de sprengen in 1986 en in 1996 heeft niet tot harde conclusies geleid. De hoofdreden is dat de sprengen mengsels afvoeren van grondwater dat soms korter, soms langer in de bodem heeft doorgebracht. Het 'oudste' water stroomde honderden jaren door de bodem, het 'jongste' slechts enkele jaren. Over een periode van tien jaar veranderen de mengsels wel, maar de gemiddelde samenstelling blijft ongeveer dezelfde.

De concentraties nitraat in het sprengwater vormen een uitgesproken voorbeeld. In de laatste vijftig jaar zijn de concentraties in de neerslag toegenomen. De waarnemingen in de oostelijke sprengen, waar de invloed van mogelijke lokale verontreinigingen het minst is, zijn weergegeven in afbeelding 2. De nummers verwijzen naar de desbetreffende spreng in afbeelding 1, terwijl de volglletters afzonderlijke monsterpunten aanduiden.

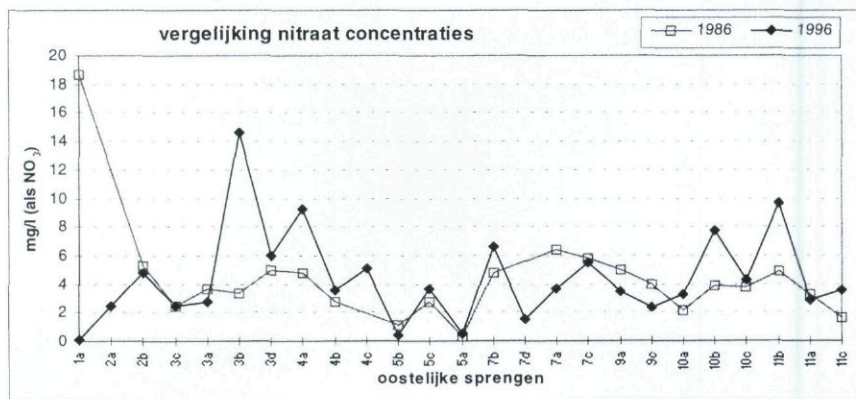
Volgens afbeelding 2 is er inderdaad een vrij goede overeenstemming tussen de waarnemingen in beide jaren. Op enkele uitzonderingen na zijn de afwijkingen niet erg groot. De verschillen tussen de sprengen worden

veroorzaakt door veranderingen in de aard van de intrekgebieden (bos en heide hebben verschillende indamp-factoren) en door de specifieke verblijftijden in de bodem van de afzonderlijke monsters. De gemiddelde waarde is in 1996 0.1 mg.l⁻¹ hoger dan in 1986. De mediane waarde van de verschillen is 0.2 mg.l⁻¹. Hieruit kunnen geen conclusies getrokken worden over veranderingen in de depositie in recente jaren. De concentraties zijn over het algemeen nog relatief laag. Zowel in 1986 als in 1996 wordt eenmaal een waarde van 10 mg.l⁻¹ overschreden. In beide gevallen is het op grond van de lokale situatie aanneemelijk dat er sprake is van verontreiniging in het intrekgebied.

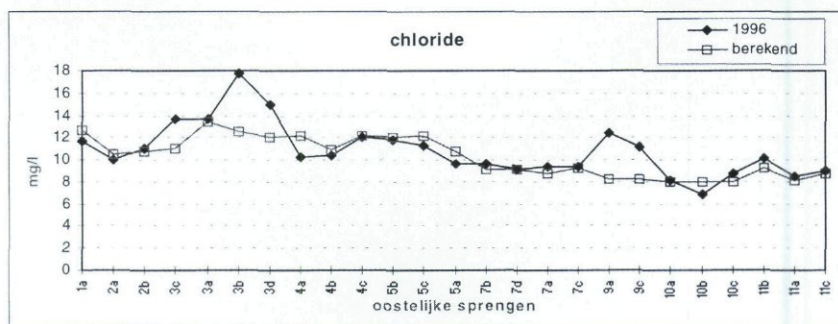
Effecten door andere verblijftijd

Elke spreng ontvangt water uit een relatief uitgestrekt intrekgebied. Het afgevoerde water zal een samenstelling hebben die overeenkomt met de aard van dat gebied op de verschillende momenten dat het water in de bodem is geïnfiltrerd. Van belang is het verschil in begroeiing (onbegroeid, heide of bos), omdat die de 'indamping' bepaalt van stoffen die door de lucht aangevoerd worden. De concentraties in grondwater onder bos zijn bij gelijke depositie hoger dan onder heide. Daarnaast is het verblijf in de bodem belangrijk, omdat de vegetatie in de loop der tijd verandert (de Veluwe is in de laatste 150 jaar bebost), maar ook omdat de gedeponeerde stoffen door processen in de bodem worden beïnvloed. Bij de monsters uit de sprengen ligt het nog ingewikkelder, omdat een monster van een bepaalde plaats niet met de gemiddelde samenstelling van de spreng hoeft overeen te komen. Op de bemonsterde plek kan water opwellen uit diepere lagen dat relatief oud is of er kan andersom water uit ondiepe lagen stromen dat tamelijk kort geleden in de bodem is terechtgekomen.

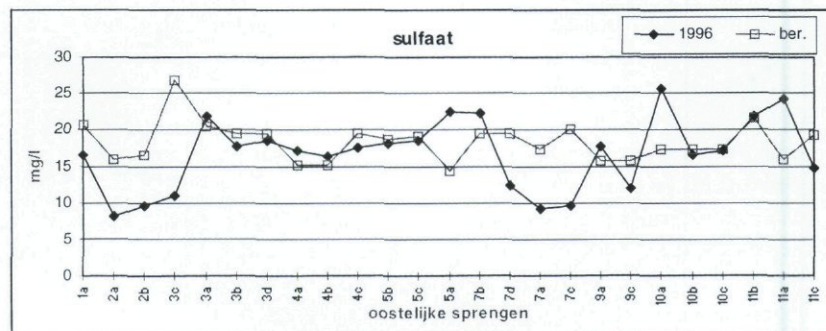
De gemeten concentraties tritium en een schema voor de stroming van het grondwater maakten het in 1986 mogelijk om de verdeling van de 'reistijden' te bepalen voor de 41 monsters uit de sprengen. Voor ieder monster kon bijvoorbeeld worden aangegeven welk deel van het water langer dan 100 jaar in de bodem verbleef en welk deel korter dan 40 jaar. Verder kon voor elk waterdeeltje de plaats van infiltratie worden bepaald. De vegetatie in de tijd van infiltratie volgde uit de bestudering van oude topografische kaarten. Op elf plaatsen in de sprengen zijn in 1996 weer concentraties tritium bepaald. Op acht locaties bleken de gemeten concentraties in overeenstemming te zijn met de berekende op basis van de verblijftijdverdeling in 1986. Daarom is aangehouden dat de verdeling voor 1986 ook in 1996 geldt. Een voorwaarde is dat



Afb. 2 Het verschil in concentratie aan nitraat in 1986 en 1996 op dezelfde plaatsen.



Afb. 3 Vergelijking van gemeten en berekende waarden voor chloride in de oostelijke sprengen.



Afb. 4 Vergelijking van gemeten en berekende waarden voor sulfaat in de oostelijke sprengen.

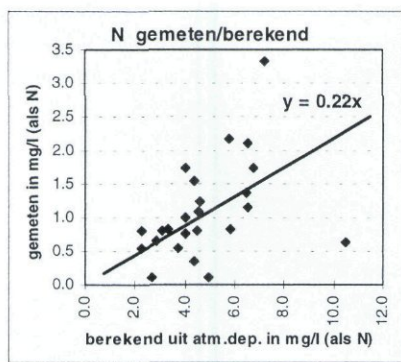
de monsters op exact dezelfde locaties zijn genomen. In de praktijk is dit niet altijd gelukt. Een controle is dat de waargenomen concentraties aan chloride moeten kunnen worden berekend uit de atmosferische depositie (3.5 mg.l⁻¹ in het noorden en 2.5 mg.l⁻¹ in het zuiden) en de vegetatie in de intrekgebieden. In afbeelding 3 blijken de berekende en de gemeten waarden goed overeen te stemmen, behalve voor de sprengen 3 en 9. In het eerste geval zijn dicht bij de sprengkoppen (het meest bovenstroomse gedeelte) bungalows in het intrekgebied gebouwd. In het tweede geval is een camping in de directe omgeving aangelegd. De gebleken overeenkomst tussen metin-

gen en berekeningen geeft vertrouwen in de gevolgde methode.

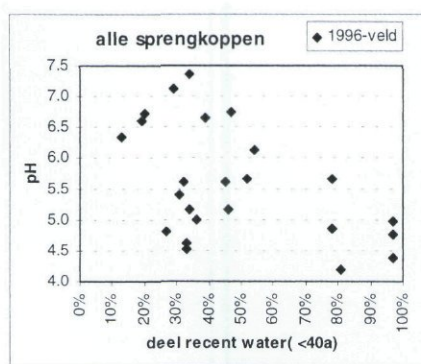
Behalve voor chloride kunnen uiteraard ook waarden worden berekend voor de verwachte nitraat- en sulfaatconcentraties in de sprengen. Hierbij is het echter niet vanzelfsprekend dat er niets gebeurt met deze stoffen tijdens de stroming door de bodem. De atmosferische depositie van sulfaat varieert in tijd en ruimte.

Als waarden voor de gemiddelde depositie van sulfaat zijn aangehouden (Meinardi, 1994; luchtmeetnet RIVM):

- voor 1890: 4.5 mg.l⁻¹ in het noorden van de



Afb. 5 Gemeten en berekende waarden concentraties stikstof.



Afb. 6 Zuurgraad en verblijftijden.

Veluwe en 4,5 mg.l⁻¹ in het zuiden,

- 1890-1955: 3 mg.l⁻¹ in het noorden van de Veluwe en 4 mg.l⁻¹ in het zuiden,
- 1955-1985: 9 mg.l⁻¹ in het noorden van de Veluwe en 10 mg.l⁻¹ in het zuiden.
- 1985-1995: 7 mg.l⁻¹ in het noorden van de Veluwe en 8 mg.l⁻¹ in het zuiden.

De waarden voor de periode 1985-1995 zijn op basis van de waarnemingen in het ondiepe grondwater hoger genomen dan zou volgen uit de gegevens van het RIVM in 1997. De waarnemingen in de oostelijke sprengen komen in veel gevallen overeen met de concentraties die volgen uit de atmosferische depositie als de eerder bepaalde waarden voor de verblijftijd en de vegetatie worden gebruikt (afbeelding 4). Evenals bij chloride blijkt ook voor sulfaat dat berekeningen en metingen overeenkomstige waarden opleveren. Dit houdt in dat er in de bodem en tijdens de instroming in de sprengen geen verdere veranderingen optreden. In enkele gevallen zijn de meetwaarden lager dan de berekende waarden. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door reducerende processen dichtbij de sprengbodems.

Eenzelfde berekening voor nitraat leidt niet tot overeenstemming tussen de waarnemingen en berekende waarden op grond van de atmosferische depositie, ook niet als met het totaal van de stikstofverbindingen in de sprengen wordt gerekend. (In spreng 1 is veel

ammonium aanwezig en bijna geen nitraat, misschien omdat het water nauwelijks stroomde). De meetwaarden zijn systematisch lager dan de waarden die volgen uit een berekening op basis van de depositie. Het is echter wel zo dat in de waarnemingen en in de berekende waarden dezelfde trend aanwezig is (Meinardi e.a., 1998). De oorzaak is vermoedelijk dat in de bodem afbraak van nitraat plaatsvindt, zodat een deel ervan niet verder met het grondwater naar de sprengen wordt getransporteerd. Het effect van een dergelijke denitrificatie in de ondiepe bodem kan voor de Veluwe nader worden bepaald door de waarnemingen te vergelijken met de waarden zoals die volgen uit de atmosferische depositie en daarna conservatief transport door het grondwater. De vergelijking is uitgebeeld in afbeelding 5 waarin een trendlijn is getrokken die aangeeft dat gemiddeld 22 procent van de door atmosferische depositie aangevoerde stikstofverbindingen in de sprengen terecht komt. Het overige deel verdwijnt door denitrificatie, vermoedelijk relatief snel en in de ondiepe bodem. De gevonden waarde stemt overeen met de resultaten van Boumans en Beltman (1992) en merkwaardig genoeg ook met de situatie onder zandige en zwaar bemeste landbouwgronden, waar eveneens circa 25 procent van de opgebrachte stikstof uitspoelt bij diepe grondwaterstanden.

Een uitwerking van de gegevens over de zuurgraad met behulp van de kennis over de verblijftijden van het water in de bodem levert interessante resultaten op. De zuurgraad van de neerslag is vermoedelijk vooral na de Tweede Wereldoorlog afgenomen. Het effect op het water van de sprengen komt tot uiting als de zuurgraad (veldmetingen) van het water in de sprengkoppen, waar het grondwater opwelt, wordt uitgezet tegen het berekende deel van het water dat korter dan 40 jaar in de bodem verbleef. Waarden voor meer benedenstroomse plaatsen zijn weggelaten om het effect van een verhoging van de zuurgraad in open water te vermijden. Uit afbeelding 6 blijkt dat de zuurgraad afneemt als het gedeelte 'jong' water groter wordt. Het 'oude' water heeft een zuurgraad van circa 6,5 en het 'jonge' water van rond 4,5.

Deze waarden vormen blijkbaar de marges waarbinnen de zuurgraad van het ondiepe grondwater is veranderd in de afgelopen eeuw. Hoewel daarover geen betrouwbare gegevens bekend zijn, mag worden aangenomen dat de zuurgraad van de neerslag voor de Tweede Wereldoorlog maar weinig minder dan 6 is geweest. De huidige neerslag heeft een gemiddelde zuurgraad van circa 5 (Somhorst e.a., 1996). Waarden in het bodemwater zullen lager zijn, omdat via droge depositie verzuurende stoffen worden aangevoerd, maar ook

omdat de begroeiing een verdere verlaging van de zuurgraad veroorzaakt. Een waarde van ongeveer 4,5 is aannemelijk voor de Veluwe bodem, zoals blijkt uit de metingen in het ondiepe grondwater (Meinardi e.a., 1998).

Verwachtingen voor de toekomst

Op grond van het voorgaande kunnen voorspellingen worden gemaakt van de samenstelling van het water in de sprengen op ieder gewenst moment en voor ieder willekeurig scenario qua depositie. Dezelfde conclusies en voorspellingen gelden voor de gemiddelde samenstelling van het grondwater in het centrale natuurgebied van de Veluwe. Als bijvoorbeeld de atmosferische neerslag en de begroeiing in de toekomst niet veranderen, gelden de volgende verwachtingen voor zowel de sprengen als voor het gemiddelde grondwater.

- De concentraties nitraat zullen in de komende decennia verder oplopen tot circa 10 mg.l⁻¹. Voor de ene spreng zal dat sneller gaan dan voor de andere.
- De concentraties sulfaat zullen niet sterk meer toenemen, maar kunnen binnen een eeuw nog wel oplopen tot circa 30 mg.l⁻¹.
- De zuurgraad van het sprengwater en het diepere grondwater van de Veluwe kan binnen een eeuw verder dalen tot circa 4,5.

LITERATUUR

- Boumans L. en W. Beltman (1991). Kwaliteit van het freatische grondwater in de zandgebieden van Nederland onder bos en heidevelden. RIVM-rapport nr. 724901001
- Conrads L. en E. Buijsman (1973). Chemie van regenwater. KRP-rapport nr. 34, Rijksuniversiteit Utrecht
- Leeftang K. (1938). De chemische samenstelling van de neerslag in Nederland. Chemisch weekblad nr. 35
- Meinardi C. (1988). Veranderingen in de samenstelling van het water in de Veluwe sprengen. H₂O (1988), nr. 3, pagina 52-57
- Meinardi C. (1994). Groundwater recharge and travel times in the sandy regions of the Netherlands. RIVM-rapport nr. 715501005
- Meinardi C., A. Rolf, G. Klaver en B. van Os (1999). Resultaten van de metingen aan de sprengen en het grondwater van de Veluwe. RIVM-rapport nr. 714851003
- RIVM (1997). Achtergronden bij Milieubalans 1997. Samson H.D.; Tjeenk Willink
- Somhorst M. en A. Stolk (1996). Landelijk meetnet regenwater-samenstelling, meetresultaten 1994. RIVM-rapport nr. 723101027