

## Inleiding

Dat vermesting een bedreiging vormt voor de drinkwaterwinning uit grondwater is al lang bekend. Dat de productie en het overdadige gebruik van mest in de Nederlandse landbouw daar de belangrijkste oorzaak van is, eveneens. Minder goed bekend is dat bossen een belangrijke factor vormen in de stikstofluxe die via atmosferische depositie, het ecosysteem, de bodem en de onverzadigde zone het grondwater bereikt. Atmosferische depositie van stikstof, afkomstig van de landbouw, industrieën



A. TIETEMA  
Fysische Geografie en  
Bodemkunde, UvA



M. DE JONGE  
NUON-WATER

en het verkeer, staat vooral in de belangstelling vanwege de schade aan het ecosysteem. Nu wordt duidelijker dat ook voor de kwaliteit van het grondwater gevaren bestaan.

## Stikstofluxe en waterwinning op de Veluwe

Al meer dan 100 jaar wordt het waterleidingnet gevoed met grondwater dat op de Veluwe is opgepompt. Het opgepompte water is van zeer goede en constante kwaliteit, vergelijkbaar met de kwaliteit van bronwater uit de fles. Het Veluwe grondwater behoeft slechts een zeer eenvoudige 'zuivering', eigenlijk alleen voor conditionering en verwijdering van ijzer en mangaan uit bedrijfstechnische en esthetische motieven. Het Veluwe grondwatersysteem is een van de grootste grondwatersystemen van Nederland en vormt gezien de goede kwaliteit een belangrijke strategische grondwatervoorraad. De keerzijde hiervan is dat een eenmaal aanwezige (diffuse) verontreiniging niet zomaar verdwenen is. Het trage grondwatersysteem kent lange verblijftijden, vaak tot meer dan 1000 jaar. Afgezien van verontreinigingen van lokale aard vormen verzuring en vermesting door atmosferische depositie de voornaamste bedreiging van de grondwaterkwaliteit op de Veluwe. In dit artikel concentreren we ons op de verhoogde nitraatgehalten die een gevaar kunnen vormen voor de drinkwaterwinning. Regelmatig worden in het freatische grond-

## Samenvatting

Ecosystemen zijn in staat om grote hoeveelheden stikstof op te slaan in vegetatie en bodem. Door jarenlang verhoogde stikstofdepositie is de opnamecapaciteit van stikstof in veel bossen en andere natuurlijke ecosystemen op de Veluwe overschreden. Het stikstof spoelt als nitraat uit het ecosysteem en vormt een bedreiging van de kwaliteit van het freatisch grondwater. Op den duur zal dit ook de drinkwaterwinning op de Veluwe bedreigen. Het landgebruik en het bosbeheer bepalen in belangrijke mate de nitraatuitspoeling. Het kappen van een bos bijvoorbeeld, veroorzaakt een (tijdelijk) sterk verhoogde nitraatuitspoeling. Daarnaast komen er verschillen voor in nitraatuitspoeling bij verschillende vegetatietypen. De leeftijd van de bomen blijkt ook een belangrijke regulerende factor te zijn voor de mate van nitraatuitspoeling. De resultaten ondersteunen de behoefte aan een heroverweging van het beheer van de Veluwe bossen om een voortschrijdende vervuiling van het grondwater te voorkomen.

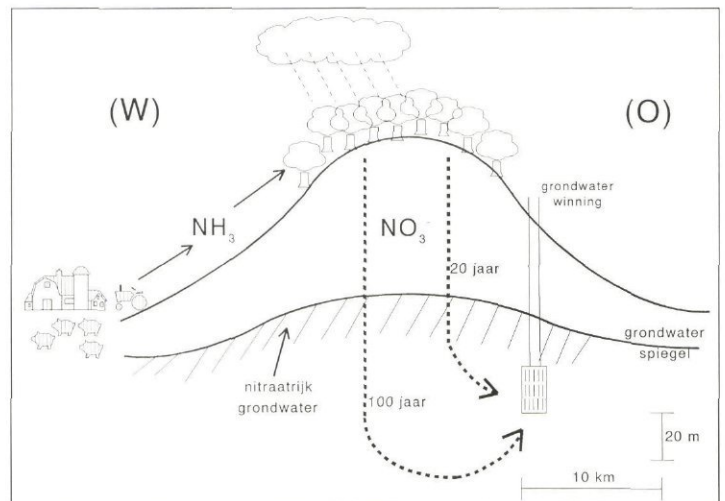
water onder natuurgebieden nitraatgehalten aangetroffen die liggen rond de drinkwaternorm van  $50 \text{ mg l}^{-1}$ . De EU-aanbeveling van  $25 \text{ mg l}^{-1}$  wordt algemeen overschreden. Uit vergelijking met onderzoek elders blijkt dat dit wordt veroorzaakt door de verhoogde stikstofdepositie sinds enkele decennia. Alleen het 'recent' geïnfilterde grondwater bevat dus dergelijke gehalten. Op den duur kan het nitraatrijke grondwater echter steeds dieper in het pakket terecht komen en ook de winputten van drinkwaterpompstations bereiken. De resultaten van het huidige mestbeleid wijzen vooralsnog niet op een spoedige sterke afname van de stikstofdepositie. De verwachting is daarom dat zich in de Veluwe een aanzienlijke voorraad nitraatrijk grondwater zal vormen. Denitrificatie, de afbraak van nitraat, vindt meestal pas op zeer grote diepte plaats, vaak buiten het bereik van de ondiepere winputten. Dat wordt veroorzaakt door het geringe organische stofgehalte van de arme zandpakketten en door het ontbreken van aaneengesloten kleilagen. Hierdoor is het grondwater tot grote diepte aëroob, en onder die omstandigheden kan geen denitrificatie optreden.

Het ecosysteem is in het verhaal van de stikstofluxe de grote onbekende. Hoe reageert een bos op verhoogde stikstofaanvoer? Is er sprake van een stikstofbuffer? En wat gebeurt er als zo'n buffer vol raakt of is verbruikt? Zijn er in dit verband 'goede' en 'slechte' boomsoorten? En welke activiteiten in het beheer van een bos zijn cruciaal? Hoe reageert een heide of een stuifzandgebied? Aanleiding genoeg voor een verkenning van de belangrijkste Veluwe ecosystemen.

## Stikstofdepositie en nitraatuitspoeling

Sinds enkele tientallen jaren ondervinden de natuurlijke ecosystemen in Nederland een verhoogde aanvoer van stikstof door atmosferische depositie. In met name bossen worden verhoogde stikstofdeposities gemeten vanwege het relatieve grote invangend oppervlak van de boomkronen. Van oorsprong waren deze bosecosystemen *stikstofgelimiteerd*. In een dergelijke situatie is de stikstofbeschikbaarheid de beperkende factor voor de groei van de verschillende compartimenten binnen het systeem en zal extra aanvoer van stikstof de groei bevorderen. Dit heeft tot gevolg dat de stikstof die

Afb. 1 - Doorsnede van de Veluwe van west naar oost. Stikstof afkomstig van atmosferische depositie komt via de bossen in de vorm van nitraat uiteindelijk in het grondwater terecht. Op den duur zal het nitraatrijk grondwater steeds dieper in het pakket terechtkomen en ook de winputten van drinkwaterpompstations bereiken.





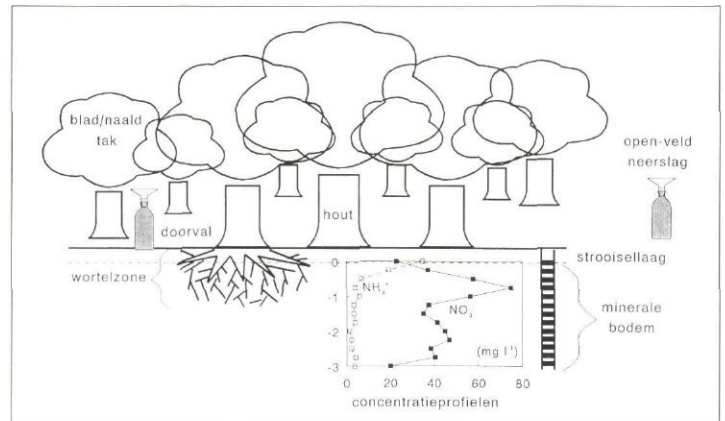
wordt aangevoerd in deze ecosystemen vrijwel volledig wordt vastgehouden en er dus geen stikstof uitspoelt naar het grondwater.

In Nederland komen dergelijke stikstofgelimiteerde bosccosystemen nauwelijks meer voor door de jarenlange atmosferische aanvoer. De opnamecapaciteit van de systemen is overschreden met als gevolg dat in vrijwel alle bossen een aanzienlijk deel van de aangevoerde stikstof het systeem verlaat door uitspoeling naar het grondwater. Onder dergelijke stikstofverzadigde omstandigheden wordt het aangevoerde ammonium (ammonium afkomstig uit ammoniak is de dominante stikstofvorm in stikstofdepositie in Nederland) door nitrificerende bacteriën in de bosbodem snel omgezet in nitraat, met als gevolg dat nitraat de vorm is waarin stikstof het systeem verlaat. Deze dominante weg van het atmosferische stikstof gaat gepaard met voor het systeem ongunstige verschijnselen zoals uitspoeling van voor de plant essentiële kationen, oplossen van aluminium en eventueel pH daling.

### Onderzoek naar stikstofverzadiging

In Nederland is in het kader van het Europees onderzoeksproject NITREX (NITrogen saturation EXperiments) in twee naaldbossen onderzocht of de verschijnselen van stikstofverzadiging omkeerbaar zijn. Beide bossen beantwoordden aan het belangrijkste criterium van stikstofverzadiging, namelijk dat een groot deel van de atmosferische stikstofdepositie als nitraat naar het grondwater stroomde. Het betrof een opstand van grove den (*Pinus sylvestris*) nabij Ysselsteyn in de Peel en een douglas spar (*Pseudotsuga mensiezii*) opstand in het Speulderbos, nabij Speuld op de Veluwe. In beide bossen zijn transparante daken van ongeveer 250 m<sup>2</sup> gebouwd. De daken waren ongeveer 3 m hoog en bevonden zich dus onder de boomkronen. De op het dak terechtgekomen doorval (neerslag onder de boomkronen wordt doorval genoemd) werd opgevangen en voor de helft opgeslagen en afgevoerd. Onder het dak werden twee experimentele plots van 10 bij 10 m ingericht. In de 'schone plot', werd in plaats van de natuurlijke doorval gedemineraliseerd leidingwater verspreid. Aan dit leidingwater werden de benodigde nutriënten toegevoegd om de chemisch samenstelling van de natuurlijke doorval te benaderen voor alle nutriënten behalve stikstof en zwavel. In de 'vervuilde plot', werd tegelijkertijd de opgevangen helft van de doorval verspreid. Het verspreiden gebeurde geheel automatisch met behulp van sprinklers. Een uitgebreide beschrijving van proefopzet

Afb. 2 - Overzicht van de metingen binnen dit onderzoek. In de minerale bodem van de onderzoekslocaties zijn concentratieprofielen van ammonium en nitraat bepaald. Daarnaast is de aanvoer van ammonium en nitraat in open-veld neerslag en doorval en is de stikstofopslag in de compartimenten 'blad/naald tak', 'strooisellaag' en 'minerale bodem' vastgesteld.

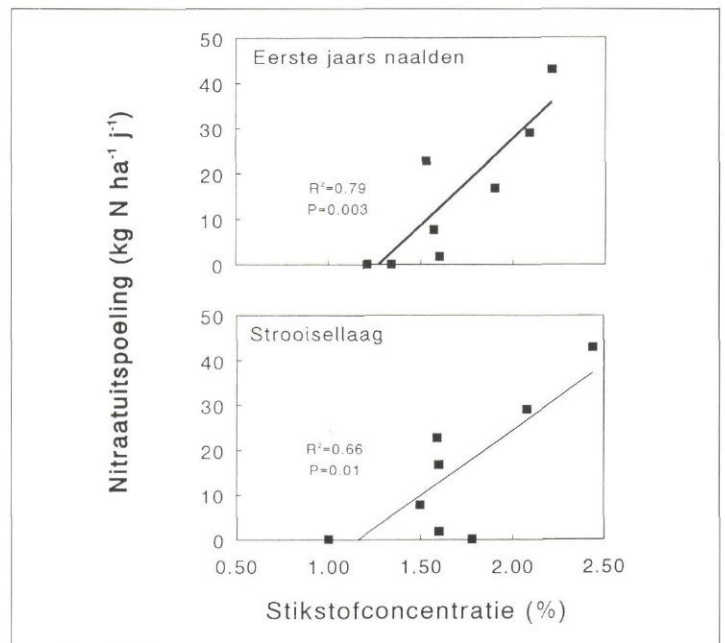


wordt gegeven door [Boxman *et al.*, 1994 en 1995].

In de experimentele plots werden zoveel mogelijk processen en parameters gemeten om de effecten van de veranderde stikstofdepositie te onderzoeken. Zo werd bijvoorbeeld maandelijks bodemvocht op verschillende dieptes verzameld met behulp van gevaccineerde keramische cups. In het bodemvocht werden pH en EC, en de concentraties van alle belangrijke kat- en anionen gemeten. Met behulp van door een simulatiemodel berekende waterfluxen, konden zo de nutriëntfluxen in de bodem worden vastgesteld. Bodemwater werd verzameld tot een diepte van ongeveer 1 meter, wat overeenkomt met de onderkant van de wortelzone. Berekende nutriëntfluxen op die diepte werden dan ook beschouwd het ecosysteem te verlaten. In beide bossen bleek de nitraatuitspoeling zeer snel te reageren op de gereduceerde stikstofdepositie; al na enkele maanden werd een vermindering in nitraatconcentraties in het bodemvocht gemeten.

Na ruim een jaar was de nitraatuitspoeling tot vrijwel nul gereduceerd [Boxman *et al.*, 1995]. De verminderde nitraatuitspoeling ging gepaard met verminderde uitspoeling van kationen, zoals K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> en Mg<sup>2+</sup>. Vergelijkbare resultaten werden gevonden bij een soortgelijke proefopzet in de NITREX-locatie in midden Duitsland [Bredemeier *et al.*, 1995].

De snelle reactie van de nitraatuitspoeling op de vermindering van de stikstofdepositie is goed nieuws voor waterleidingbedrijven. Het geeft aan dat de aanpak van het probleem bij de bron via emissiebeperkende maatregelen, direct positieve gevolgen heeft voor de kwaliteit van het grondwater. Toch is dit slechts een deel van het probleem. Een groot deel van de aangevoerde stikstof is namelijk in het ecosysteem opgeslagen. Deze stikstof bevindt zich in organische vorm in blade- ren of naalden (5-15%), en in het hout (15-40%), maar ook in de strooisellaag (5-35%) en in de minerale bodem als bodemorganische stof (35-75%). Dat een



Afb. 3 - Correlatieve verbanden tussen nitraatuitspoeling en stikstofconcentraties in eerstejaars naalden en de strooisellaag. Gebaseerd op Tietema en Beir [1995].



deel van de stikstof wordt opgeslagen en dat deze opslag gelimiteerd is blijkt uit korrelatief onderzoek waarbij gebruik is gemaakt van meetgegevens uit een aantal Europese naaldbossen. Stikstofconcentraties in een aantal compartimenten van het bosecosysteem, zoals de nieuw gevormde naalden en de strooisellaag, blijken positief gecorreleerd met de gemeten nitraatuitspoeling (afb. 3). Deze concentraties zijn dus indicatief voor de nitraatuitspoeling en dus voor de mate van stikstofverzadiging.

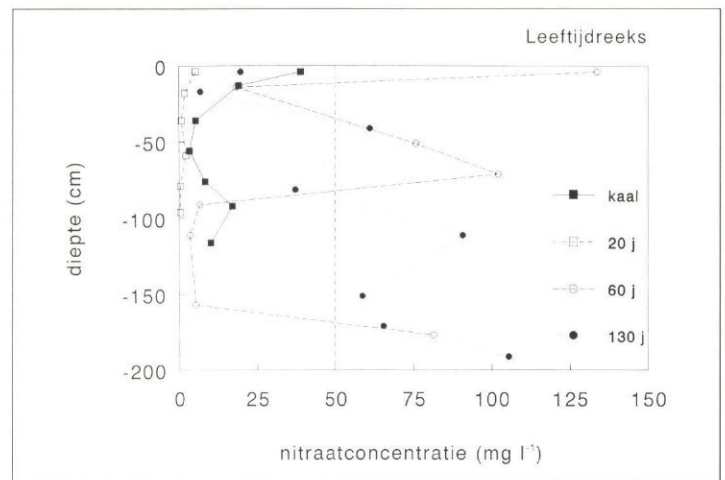
**De centrale vraag voor grondwaterwinners in bebost gebied is natuurlijk of, wanneer en met welke snelheid deze opgeslagen hoeveelheid stikstof zal uitspoelen, en of bosbeheer hierop van invloed kan zijn.**

#### Nitraatuitspoeling op de Veluwe

Hoe is de situatie nu op de Veluwe? Hoeveel nitraat spoelt er nu uit en wat kunnen we in de toekomst verwachten? Wat zijn de belangrijkste regulerende factoren en kunnen we het uitspoelen van opgeslagen stikstof op enige wijze beïnvloeden? Om deze vragen te onderzoeken is een aantal boslocaties op de Veluwe geselecteerd. Deze locaties bestonden uit reeksen die slechts in één factor van elkaar verschilden. Eén van deze factoren was de leeftijd van het bomen. Hiervoor werden vijf locaties in het Hulshorsterzand en in de Leuvenhorst uitgezocht. Deze vijf representeerden een zogenaamde primaire successiereeks van kaal stuifzand naar een 130-jarige opstand van grove den. De tussenliggende stadia waren grove den opstanden van respectievelijk 20, 60 en 90 jaar oud. Volgens Fanta [1995] raakt het stuifzand zonder beheer begroeid met mossen, wieren en korstmossen. Vervolgens komt er een stadium waarin bepaalde grassoorten, zoals buntgras (*Corynephorus canescens*) en schapegras (*Festuca ovina*), en mossen domineren. In dat stadium kunnen na verloop van tijd aanwezige zaden van grove den tijdens gunstige omstandigheden massaal kiemen. Op die manier ontstaat het dennenbos [Fanta, 1995]. De onderzochte locaties hadden volgens deze theorie dezelfde ontstaansgeschiedenis en konden dus beschouwd worden als een leeftijdsreeks. Het bodemtype werd geclassificeerd als duinvaaggrond.

Een andere factor was het vegetatietype. In het Gortelse bos, ten noordwesten van Apeldoorn, werden hiervoor op een relatief korte afstand van elkaar, vijf verschillende vegetatietypes onderzocht; een heidevegetatie met struikheide (*Calluna vulgaris*), een grasland met bochtige smele (*Deschampsia flexuosa*) en pijpestrootje

Afb. 4 - Profielen van nitraatconcentraties ( $\text{mg l}^{-1}$ ) in de bodem van de onderzoekslocaties van de leeftijdsreeks.

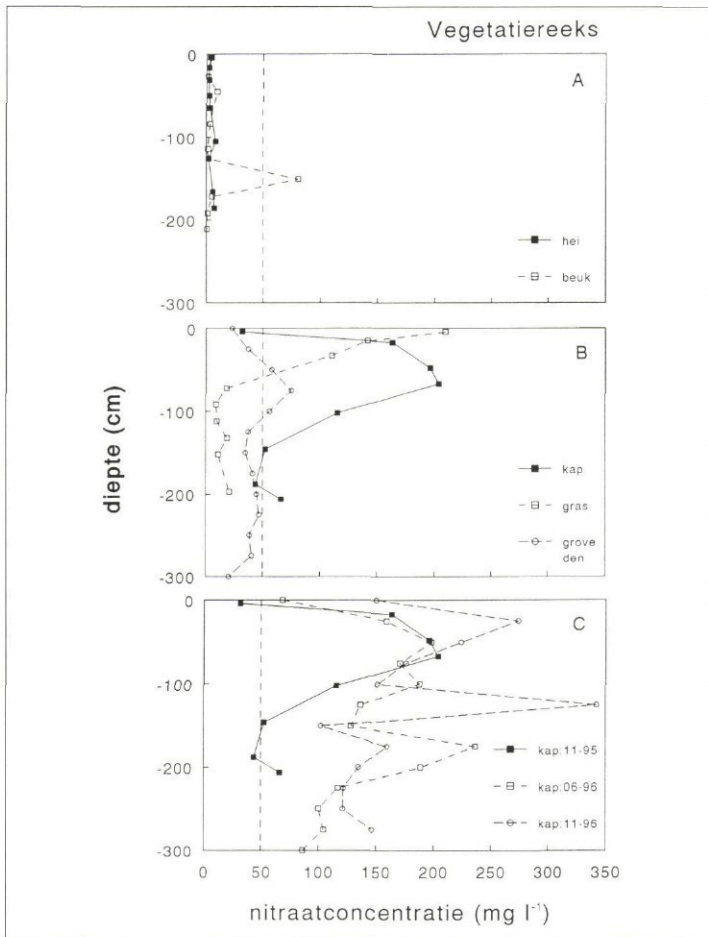


(*Molinia caerulea*), een beukenopstand (*Fagus sylvatica*) en een opstand van grove den (*Pinus sylvestris*) van ongeveer 100 jaar oud, en een kapvlakte waar een 30 jaar oude opstand van fijnspar (*Picea abies*) in de winter van 1995 was gekapt.

Het bodemtype was voor alle locaties van deze reeks een holtpodzol, ontwikkeld in gestuwd, preglaciaal bodemmateriaal. In deze locaties werd de nitraatuitspoeling bepaald. Hiervoor werden concentratieprofielen van nitraat in de bodem bepaald. Tot een maximale diepte van 3 meter, werd elke 20 à 25 cm een bodemmonster genomen. Na een waterextractie van het monster met een 1 op 1 vast-vloeibaar verhouding is de concentratie van onder andere  $\text{NO}_3^-$  gemeten. Voor het berekenen van de waterfluxen is gebruik gemaakt van het bodemhydrologisch model SWIF (Soil Water In Forests) [Tiktak en Bouten, 1992], met als invoer de neerslaggegevens van de Veluwe voor de afgelopen 3 jaar. Op grond van de door SWIF berekende waterfluxen is per locatie een gemiddelde waterflux op 1 en 2 m diepte bepaald voor de periode van oktober 1995 tot maart 1996, waarin de meeste bodemprofielen zijn bemonsterd. De waterflux is vermenigvuldigd met de gemiddelde nitraatconcentratie vanaf 1 m diepte en omgerekend naar een jaarlijkse nitraatuitspoeling. De nitraatprofielen in het kale stuifzand en in de 20-jarige grove dennenlocatie in de leeftijdsreeks laten lage concentraties zien ( $< 20 \text{ mg l}^{-1}$ ) in de ondergrond (afb. 4). In kaal stuifzand ontbreekt de vegetatie om het nitraat te consumeren en zal ook de productie door nitrificatie minimaal zijn; het nitraat dat via de depositie de bodem bereikt, zal vervolgens uitspoelen. In de 20-jarige dennenopstand is er een grote behoefte aan anorganisch stikstof om de bomen te laten groeien. De nitraatconcentraties zijn dan ook laag. Ook in deze locatie zal nauwelijks nitraat uitspoelen. In de oudere grove den locaties

zijn nog op grotere diepte hoge nitraatconcentraties ( $50\text{--}100 \text{ mg l}^{-1}$ ) gemeten. In deze locaties spoelt nitraat dus uit. In de heidevegetatie en in de beukenopstand werd in de bodem nauwelijks nitraat aangetroffen (afb. 5A). Dit wijst op een limitatie aan anorganisch stikstof in deze locaties, eventueel gepaard gaand met het ontbreken van nitrificatie. In deze locaties spoelt dan ook geen nitraat uit. In de heidevegetatie is dit volgens de verwachting. Hier worden vaak lage concentraties aan anorganisch N en lage nitrificatiesnelheden gevonden. In het beukenbos is dit niet volgens de verwachting. De bomen zijn ongeveer 100 jaar oud en zullen normaal gesproken een vrij lage behoefte hebben aan stikstof. Toch wordt alle stikstof in het systeem vastgehouden. Opmerkelijk is het verschil tussen de beukenopstand en de evenoude grove dennenopstand. In de laatste locatie worden wel hoge nitraatconcentraties in de bodem gemeten. Wellicht speelt hierbij een rol dat het strooisel van beukenbomen in het algemeen vrij moeilijk afbreekbaar is en dat de bodemorganische stof in een dergelijk bos een hogere capaciteit heeft om stikstof op te slaan. In de overige locaties van de vegetatiereeks werden veel hogere ( $50\text{--}200 \text{ mg l}^{-1}$ ) nitraatconcentraties in het bodemwater gevonden (afb. 5B). In het algemeen nemen de concentraties dieper in de bodem af. In het grasland zijn de concentraties vanaf 50 cm laag ( $< 30 \text{ mg l}^{-1}$ ). Dit kan alleen worden verklaard als alle nitraat tot aan die diepte wordt geconsumeerd, of dat er een puls nitraat onderweg is. Bij de kapvlakte is dit laatste de meest aannemelijke verklaring, aangezien daar geen bomen meer aanwezig zijn om nitraat te consumeren. Het uitspoelen van nitraat na kappen of een andere verstoring is een bekend verschijnsel, dat zelfs in bossen met een stikstoflimitatie wordt gevonden. Deze puls van nitraat wordt verklaard door een combinatie van het plotseling weg-



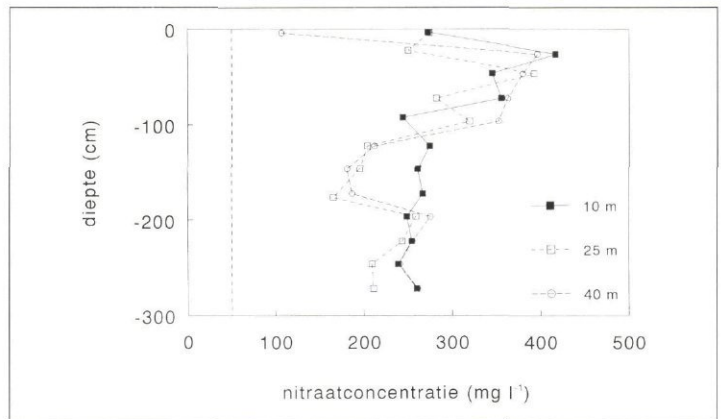
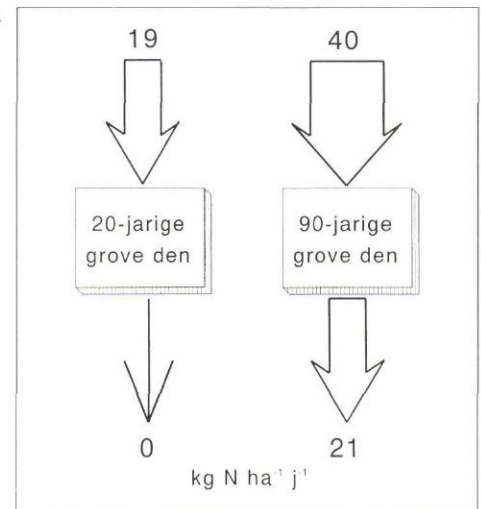


Afb. 5 - Profielen van nitraatconcentraties ( $\text{mg l}^{-1}$ ) in de bodem van de onderzoekslocaties van de vegetatiereeks.

vallen van de opname van stikstof door de vegetatie en de gunstige omstandigheden voor nitrificatie, bijvoorbeeld hogere temperaturen door de verhoogde instraling na het wegvallen van de boomkronen. De latere metingen van het concentratieprofiel in de kapvlakte waren erop gericht om de theorie van deze puls te toetsen (afb. 5C). De resultaten laten zien dat de puls in een periode van een jaar dieper is doorgedrongen in de bodem en dat de puls zich meer over de diepte verdeelt. In deze locatie zullen in de nabije toekomst grote hoeveelheden nitraat uitspoelen. In de afbeeldingen 4, 5 en 7 is ook de drinkwaternorm van  $50 \text{ mg l}^{-1}$  weergegeven. Als je ervan uitgaat dat onder de wortelzone de nitraatconcentratie niet meer wijzigt, dan wijzen de onderzoeksresultaten erop dat de nitraatnorm op veel plaatsen ruim wordt overschreden, tot een factor 5. De berekende nitraatuitspoeling varieerde

van geen nitraatuitspoeling in de 20-jarige opstand van grove den tot  $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$  in de laatste meting op de kapvlakte (tabel I). De hoogste nitraatuitspoeling in de beboste locaties van beide reeksen werd gemeten in de 90-jarige grove dennenopstand van de leeftijdreeks ( $21 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ ) (zie ook afb. 6). De genoemde waarden van nitraatuitspoeling in de beboste locaties zijn aan de lage kant ten opzichte van andere beschikbare gegevens over nitraatuitspoeling in Nederlandse bossen. Van Breemen en Verstraten [1991] rapporteerden van 15 Nederlandse boslocaties de nitraatuitspoeling, variërend van 4 tot  $90 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ , met een gemiddelde van ongeveer  $40 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ . In de NITREX locatie bij IJsselsteyn maten de onderzoekers een nitraatuitspoeling van  $65 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$  [Boxman *et al.*, 1995]. Extreem hoge nitraatconcentraties werden door ons gemeten in een Douglas sparren-

Afb. 6 - Aan- en afvoer van stikstof (in  $\text{kg N ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$ ) in een 20- en 90-jarige grove dennenopstand. In de 20-jarige opstand wordt de  $19 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$  in de doorval volledig door het ecosysteem opgenomen: er spoelt geen nitraat uit. In de 90-jarige opstand spoelt meer dan de helft van de aanvoer als nitraat naar het grondwater.



Afb. 7 - Profielen van nitraatconcentraties ( $\text{mg l}^{-1}$ ) in de bodem van een Douglas sparrenbos ten noorden van Ede. De monsters zijn genomen op 10, 25 en 40 m van de bosrand.

bos aan een bosrand, grenzend aan een maisakker, even ten noorden van Ede. In deze locatie werden ook hoge stikstofdeposities gemeten, waarschijnlijk samenhangend met de nabijheid van de veelvuldig bemeste maisakker. De nitraatconcentratie in de bodem tussen 1 en 3 meter diepte in deze locatie lag rond  $250 \text{ mg l}^{-1}$  (afb. 7).

### Conclusies

De gepresenteerde resultaten laten duidelijk zien dat natuurlijke ecosystemen een grote rol spelen in de toename van de nitraatgehaltes in het Veluwe grondwater. In het percolerende bodemvocht wordt overschrijding van de drinkwaternorm veelvuldig waargenomen. Bossen kunnen in eerste instantie grote hoeveelheden stikstof opslaan en werken op die manier als een stikstofbuffer. Deze opnamecapaciteit is echter beperkt; resultaten van diverse onderzoeken laten zien dat nitraat vanuit de bosbodem uitspoelt naar het grondwater.

De in het ecosysteem opgeslagen hoeveelheid stikstof is relatief immobiel. Wat het uiteindelijke lot is van die opgeslagen stikstof op de langere termijn blijft onduide-

TABEL I - Berekende nitraatuitspoeling in  $\text{kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$  aan de hand van gemiddelde nitraatconcentratie vanaf 1 m diepte en gemodelleerde waterfluxen.

Vegetatiereeks			Leeftijdreeks							
Heide	Gras	Beuk	Kap (11/95)	Kap (6/96)	Kap (11/96)	Kaal stuifzand	Grove den (20 j)	Grove den (60 j)	Grove den (90 j)	Grove den (130 j)
2	6	4	60	83	100	7	0	6	21	16



lijk. Dit onderzoek heeft wel aangetoond dat een juist beheer van de Veluwe bossen kan bijdragen tot het beperken van de nitraatuitspoeling op de kortere termijn. Oudere bomen hebben een beperkte behoefte aan stikstof en zullen daarom niet alle stikstof opslaan. Het regelmatig verjongen van opstanden lijkt derhalve een nuttige beheermaatregel. Echter, het compleet kaalkappen van bospercelen leidt weer tot een sterk verhoogde nitraatuitspoeling vanuit de bodem. Een duurzaam bosbeheer zou dan in de Veluwe situatie inhouden het creëren van opstanden met een evenwichtige leeftijdsopbouw, die door selectieve kap wordt gehandhaafd. Het formuleren van beheermaatregelen voor de Nederlandse bossen voor een duurzaam grondwaterbeheer is niet de taak van een waterleidingbedrijf, noch van een ecosysteemonderzoeker. Met dit artikel hebben we wel laten zien dat er goede (milieu-)motieven zijn om bij het beheer van de Nederlandse bossen rekening te houden met de voortschrijdende vervuiling van het grondwater. Dit ook om goed drinkwater te kunnen produceren. Een volgende stap zal zijn het onderzoeken van de effecten van beheermaatregelen op de nitraatuitspoeling in de praktijk.

#### Literatuur

- Boxman, A. W., Dam, D van, Dijk, H. F. G. van, Hogervorst, R. F., and Koopmans, C. J. (1985). *Ecosystem responses to reduced nitrogen and sulphur inputs into two coniferous forest stands in the Netherlands*. Forest Ecology & Management, 71: 7-29.
- Boxman, A. W., Dijk, H. F. G. van, and Roelofs, J. G. M. (1994). *Soil and vegetation responses to decreased atmospheric nitrogen and sulphur inputs into a Scots pine stand in the Netherlands*. Forest Ecology and Management, 68: 39-45.
- Bredemeier, M., Blanck, K., Lamersdorf, N. and Wiedey, G.A. (1995). *Response of soil water chemistry to experimental 'clean rain' at Solling, Germany*. Forest Ecology and Management, 71: 31-44.
- Dise, N. B. and Wright, R. F. (1992). *The NITREX project (Nitrogen Saturation Experiments)*. Ecosystem Research Report 2, Commission of the European Communities, Brussels, 101 p.
- Fanta, J. (1995). *Walddynamik in Flugsandgebieten des niederländischen Teiles des nordwesteuropäischen Diluviums*. Forstarchiv, 66: 128-132.
- Tietema, A. and Beier, C. (1995). *A correlative evaluation of nitrogen cycling in the forest ecosystems of the EC projects NITREX and EXMAN*. Forest Ecology & Management, 71: 143-151.
- Tiktak, A. and Bouten, W. (1992). *Modelling soil water dynamics in a forested ecosystem: III Model description and evaluation of discretization*. Hydrological Processes, 6: 455-465.
- Van Breemen, N. and Verstraten, J. M. (1991). *Thematic report on soil acidification and nitrogen cycling*. In Heij G. J. and T. Schneider (Eds) *Acidification research in the Netherlands*. Studies in Environmental Science 46, 289-352. Elsevier, Amsterdam 1991.

#### Biologisch gezuiverd effluent

• Slot van pagina 800.

stof en troebelheid (> 98%) geconstateerd. Tevens werd geconstateerd dat in het behandelde water zich geen bacteriën van de Coligroep bevonden. Ook faecale streptococci en salmonella's werden niet aangetroffen.

De kosten van membraan-toepassing bij grootschalige toepassing liggen momenteel in de orde-grootte van f 0,40-f 0,50 per m<sup>3</sup>. De ontwikkelingen in de membraanmarkt doen verwachten dat deze prijs op termijn nog enigszins zal dalen.

In de afsluitende discussie werd door een aantal deelnemers gevraagd naar de gevoeligheid van de diverse nazuiverings-systemen voor slibdoorslag met het effluent uit de nabezinktanks. Duidelijk werd dat de meeste systemen negatief worden beïnvloed door een verhoogd zwevend-stofgehalte in de toevoer.

Het goed functioneren van de nabezinking is derhalve van groot belang. Bij membraanfiltratie is voorbehandeling van de toevoer naar de filters noodzakelijk.

Door de dagvoorzitter werd de vraag opgeworpen of we in de toekomst op de huidige vertrouwde wijze het rioolwater zullen blijven zuiveren, nu fysisch/chemische en biologische nabehandelingstechnieken zich aandienen. Wellicht dat een integratie van technieken de toekomst is. Als voorbeeld werd genoemd de toepassing van membraanbioreactor (MBR) waar de nabezinkingsfunctie wordt overgenomen door membraanfiltratie.

Voor de toepassing van nabehandeld effluent als grondstof werden door de sprekers meerdere voorbeelden genoemd. Met het gebruik van in helofytenfilters behandeld effluent als voedingswater blijft uiteraard voorzichtigheid geboden. Voor toepassing als B-water (of E-water?) in de industrie zijn waarschijnlijk mogelijkheden, afhankelijk van de omstandigheden. Door nabehandeling van het effluent worden de bezwaren tegen lozing op kleine oppervlaktewateren in ieder geval sterk gereduceerd. Of het nabehandeld effluent nu wel of niet in de bodem mag worden geïnfilteerd werd niet geheel duidelijk.

Tijdens het symposium is wel duidelijk geworden, dat biologisch gezuiverd effluent effectief kan worden nabehandeld tot een 'grondstof' voor lozing op oppervlaktewater dan wel voor hergebruik in de industrie, de landbouw of locatiespecifieke toepassingen. Met deze conclusie besloot de dagvoorzitter de bijeenkomst.

## Themadag water- en gewasbeschermingsbeleid en mogelijkheden van differentiatie naar kavelsloten en hoofdwaterlopen

In opdracht van het ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij werd in oktober 1996 een project gestart om te onderzoeken of differentiatie mogelijkheden biedt om zowel de kwaliteit van het oppervlaktewater te verbeteren en ook een effectief gewasbeschermingsmiddelen-pakket beschikbaar te houden. Het project is uitgevoerd door de Plantenziektenkundige Dienst en het DLO-Staring Centrum.

De themadag wordt gehouden naar aanleiding van het verschijnen van het eindrapport. De organisatie wordt verzorgd door SC-DLO en PD gezamenlijk. De themadag vindt plaats op 27 januari 1998 in het DLO-Staring Centrum in Wageningen. Om het idee van differentiatie van waterlopen vorm te geven is door PD en SC-DLO een modelmatige aanpak gekozen. Er werd een fictieve polder ontworpen. Het watersysteem van de fictieve polder bestaat uit een stelsel van één hoofdwatergang en tien kavelsloten. Uitgangspunt is dat in de hoofdwaterloop geen overschrijding van normen mag plaatsvinden. Om dit te bereiken zou er langs de hoofdwaterloop een generieke spuitvrije zone aangelegd moeten worden. In de kavelsloot zou een tijdelijke en beperkte overschrijding van de normen kunnen worden geaccepteerd, redenerend vanuit de optie van herstel van populaties van waterorganismen. Met het model TOXSWA zijn concentraties in de kavelsloten en in de hoofdwaterloop berekend. Diverse combinaties van maatregelen zijn doorgekeurd op hun consequenties voor de waterkwaliteit en op de beschikbaarheid van middelen.

Tijdens de themadag zal achtereenvolgens worden ingegaan op de probleemschets, de keuze bij het ontwerp van de fictieve polder en de maatregelen, de gehanteerde gedifferentieerde normen, de berekeningen met TOXSWA en de resultaten van de berekeningen. Aansluitend zal er een forumdiscussie plaatsvinden over het uitgezette beleid en over de mogelijkheden en onmogelijkheden van differentiatie als oplossing om de wens tot schoon water en de wens tot een effectief middelenpakket bijeen te brengen.

Nadere inlichtingen: DLO-Staring Centrum, T. C. M. Brock, telefoon 0317-474661 en Plantenziektenkundige Dienst, W. W. M. Brouwer, telefoon 0317-496865.