

Nitraatuitspoeling vanuit Veluwe bossen naar het grondwater: Een kwestie van bosbeheer?

Door verhoogde aanvoer van stikstof via zure regen, zijn veel bossen in Nederland stikstofverzadigd. Een deel van de stikstofaanvoer komt als nitraat terecht in het grondwater en bedreigt de grondwaterkwaliteit. Op de Veluwe worden regelmatig nitraatgehalten aangetroffen die liggen rond de drinkwaternorm. In opdracht van NUON-WATER heeft de Universiteit van Amsterdam onderzoek gedaan naar de factoren die de nitraatuitspoeling bepalen en de invloed van bosbeheermaatregelen daarop.

Het Veluwe grondwatersysteem is een van de grootste van Nederland en vormt een belangrijke strategische grondwatervoorraad. Verhoogde nitraatuitspoeling als gevolg van verzuring en vermesing door atmosferische depositie vormen eigenlijk de enige bedreiging van de grondwaterkwaliteit op de Veluwe. Vooralsnog bevat alleen het recent geïnfiltreerde grondwater gehalten rond de drinkwaternorm van 50 mg per liter. Op den duur kan het nitraatrijke grondwater echter de dieper liggende winputten van drinkwaterpompstations bereiken. Het huidige mestbeleid leidt vooralsnog niet tot een snelle afname van de stikstofdepositie. Naar verwachting zal zich in de Veluwe een aanzienlijke voorraad nitraatrijk grondwater vormen. Door manipulatie-experimenten met stikstofaanvoer op ecosystemschaal, zoals uitgevoerd in

het NITREX project (Boxman & Tietema, 1998) weten we inmiddels een stuk meer over hoe een bos reageert op veranderde stikstofaanvoer. Deze experimenten zijn echter beperkt tot enkele boomsoorten op specifieke bodems. Het hier gepresenteerde onderzoek richtte zich op de factoren die de nitraatuitspoeling vanuit natuurlijke ecosystemen op de Veluwe beïnvloeden en de rol die het beheer daarbij kan spelen.

Methodiek

Een uitgebreide beschrijving van de methodiek staat in het rapport "Meten en modelleren van nitraatuitspoeling vanuit bossen op de Veluwe" (Tietema, 1997). Hieronder staan de hoofdlijnen.

Op de Veluwe zijn twee reeksen van locaties geselecteerd op basis van ontwikkelingsstadium en vegetatietype. De eerste reeks van 5 locaties representeert de primaire successie van kaal stuifzand naar een 130-jarige opstand van grove den op duinvaaggronden.

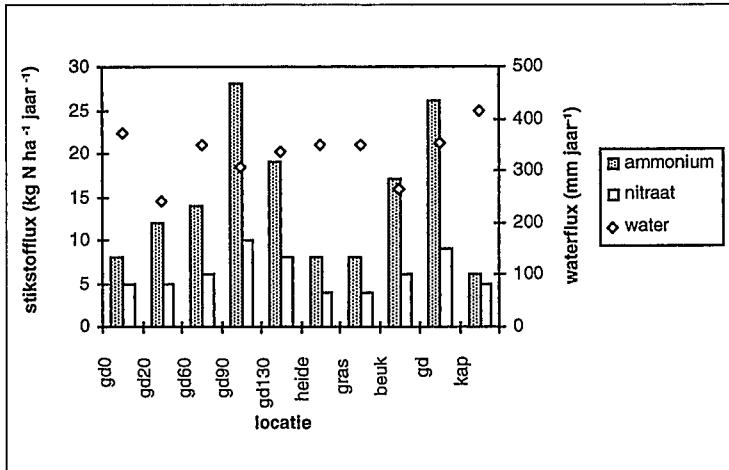
De tweede reeks representeert verschillende vegetatietypes op holtpodzolen; een heidevegetatie met struikheide, een grasland met bochtige smele en pijpestrootje, een beukenopstand en een opstand van grove den van ongeveer 100 jaar oud. Daarnaast werd een kapvlakte uit 1995 in het onderzoek meegenomen.

Voor iedere locatie is de jaarlijkse stikstofaanvoer en nitraatuitspoeling berekend op basis van modelmatig berekende waterfluxen en meting van de concentratie van ammonium en nitraat in de bodem, de neerslag en de doorval.

In monsters van de organische laag en de bovenste 5 cm van de minerale bodem zijn de snelheden bepaald van stikstofmineralisatie (de omzetting van organisch stikstof naar ammonium) en nitrificatie (de omzetting van ammonium naar nitraat). Beide processen zijn van belang voor de

Tabel 1. Berekende nitraatuitspoeling aan de hand van de gemiddelde nitraatconcentratie vanaf 1 meter diepte en gemiddelde waterflux

Locatie	waterflux mm jaar ¹	nitraat concentratie mg L ⁻¹	nitraat- uitspoeling kg N ha ⁻¹ jaar
grove den 0	226	14,9	7
grove den 20	40	1,2	0
grove den 60	90	30	6
groven den 90	90	103	21
grove den 130	90	80	16
heide	174	5,6	2
gras	166	14,9	6
beuk	104	14,9	4
grove den	88	38	8
kapvlakte	244	109	60



Afbeelding 1. Water- en stikstof- (ammonium en nitraat)fluxen in de doorval.

Stikstofdepositie

De neerslaghoeveelheden tijdens de meetperiode waren extreem laag. In de vegetatielose locaties (grove den 0 en kapvlakte) werd een jaarlijkse neerslaghoeveelheid van 372 en 414 mm gemeten (Afbeelding 1): Dat is ongeveer de helft van het langjarig Nederlands gemiddelde. In de doorval is het aandeel van ammonium-stikstof altijd meer dan twee keer zo hoog als nitraat-stikstof, wat wijst op het grote aandeel van uit mest vervluchtigde ammoniak bij de atmosferische stikstofdepositie in

nitraatuitspoeling omdat het gevormde ammonium en nitraat een additionele bron voor de nitraatuitspoeling kan zijn.

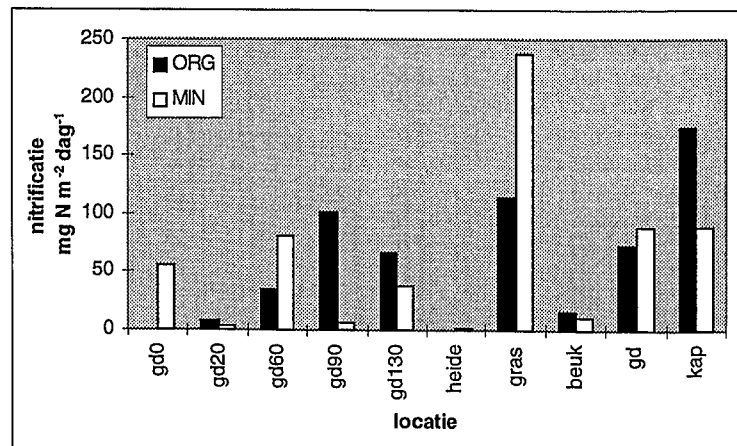
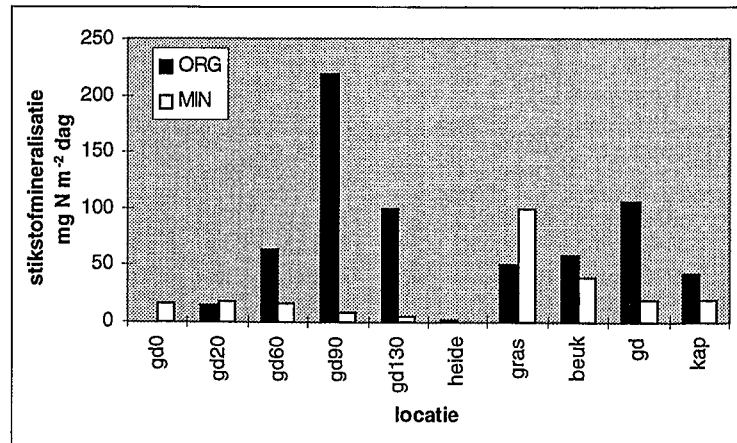
als gevolg van de extreem lage nitraatconcentraties en de lage waterflux.

Resultaten

Nitraatuitspoeling

De hoogste waterfluxen op een diepte tussen 1 en 2 m diepte werden in de vegetatielose locaties grove den 0 en kapvlakte aangetroffen (Tabel 1). Dit wordt verklaard door het ontbreken van verdamping door de vegetatie. In grove den 20 met een stamtal van 15000 bomen ha⁻¹, werd een zeer kleine waterflux gevonden (40 mm jaar⁻¹). De hoogste nitraatconcentratie werd gemeten in grove den 90 (103 mg NO³-L⁻¹) en in de kapvlakte (109 mg NO³-L⁻¹). In deze laatste locatie leidde dit door de hoge waterflux tot de hoogste nitraatuitspoeling (60 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹). In de leeftijdreeks bleek de hoogste nitraatuitspoeling voor te komen in de oudere locaties (grove den 90 en 130). In grove den 20 was de uitspoeling van nitraat verwaarloosbaar klein

Afbeelding 2. Stikstofmineralisatie (boven) en nitrificatiesnelheden (onder) in de organische en de bovenste 5 cm van de minerale bodem.



Afbeelding 3. Relatie tussen stikstofdepositie en nitraatuitspoeling in de locaties van de leeftijdreeks. De lijn en de vergelijking zijn het resultaat van een lineaire regressie.

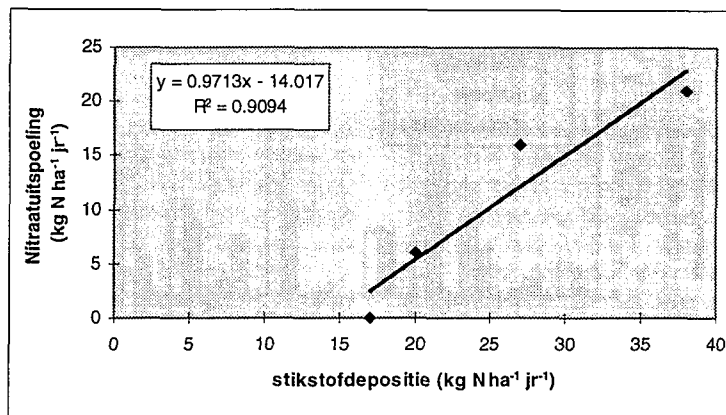
Nederland. De totale jaarlijkse aanvoer van (ammonium + nitraat) stikstof via de doorval in de beboste locaties was aanzienlijk hoger dan in de lage vegetaties (heide en gras).

Mineralisatie en nitrificatie

In beide reeksen werden grote verschillen in stikstofomzettingssnelheden gemeten (Afbeelding 2). De laagste omzettingssnelheden werden gemeten in grove den 20 en in de heide locatie. Daarnaast valt ook de lage nitrificatiesnelheid op in de beukenlocatie. Opmerkelijk zijn de verschillen tussen heide en gras. Zowel stikstofmineralisatie als nitrificatie verlopen veel sneller in gras dan in heide. De verschillen in omzettingssnelheden in de leeftijdreeks worden vooral veroorzaakt door de verschillen in hoeveelheden organisch materiaal. In grove den 20 bijvoorbeeld is de nitraatproductie per vierkante meter veel lager dan in grove den 130 (Afbeelding 2), terwijl de productie per kilogram even hoog is.

Discussie

Wij beperken ons in de discussie tot verschillen tussen de locaties en gaan we niet in op de absolute getallen, omdat deze beïn-



vloed zijn door de extreme droogte tijdens het onderzoek.

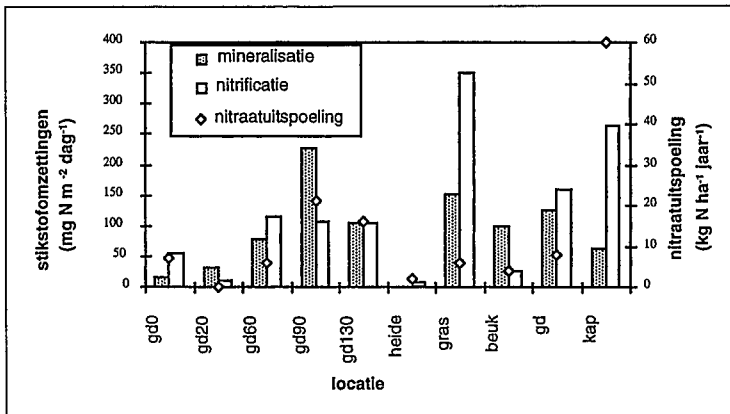
Uit de relatie tussen stikstofdepositie (Afbeelding 1) en nitraatuitspoeling (Tabel 1) blijkt dat in de leeftijdreeks de nitraatuitspoeling gecorreleerd is aan de depositie (Afbeelding 3). Gemiddeld blijft jaarlijks 14 kg N ha⁻¹ van de depositie in het ecosysteem achter. Toch kan dit niet de enige verklaring zijn voor de verschillen in nitraatuitspoeling aangezien de stikstofbehoefte van de bomen in de 20-jarige locatie veel hoger zal zijn dan in de 90- of 130-jarige locatie. Met andere woorden, de 14 kg ha⁻¹ die jaarlijks achter blijft in grove den 20 zal bij lange na niet voldoende zijn om de behoefte van de bomen te dekken, terwijl dit in grove den 90 en 130 waarschijnlijk wel voldoende is. Dat de bomen in grove den 20 een groter tekort hebben aan stikstof dan in de oudere locaties wordt bevestigd door de rela-

tief hoge verhouding tussen de koolstof- en stikstofconcentratie (CN-verhouding) (Tabel 2). Een hogere verhouding duidt op stikstofgebrek en een lagere nitraatuitspoeling (Tietema en Beier, 1995).

De nitraatuitspoeling in de locaties van de leeftijdreeks blijkt ook gecorreleerd te zijn aan de snelheden van de stikstofomzettingen (Afbeelding 4). De 20-jarige locatie waar geen nitraat uitspoelt, vertoont duidelijk de laagste mineralisatie- en nitrificatiesnelheden. In vergelijking met de oudere locatie heeft de 20-jarige locatie een veel meer gesloten stikstofcyclus, zonder verliezen van stikstof en met relatief lage omzettingssnelheden. Doordat de jonge bomen een grote stikstofbehoefte hebben en er te weinig beschikbaar is, zal het ecosysteem heel behoudend met de beschikbare stikstof om gaan. De nitraatuitspoeling in de locaties van de vegetatiereeks blijken in mindere mate gecorreleerd te zijn aan de stikstofdepositie. Het verschil tussen heide en gras wordt verklaard door de hogere omzettingssnelheden in gras (Afbeelding 4). Toch is het verschil in uitspoeling gering (3 kg N ha⁻¹ jr⁻¹), doordat het gras een groot deel van de gevormde anorganisch stikstof weer opneemt. Het

Tabel 2. CN-verhoudingen in de organische laag in de naalden die als strooisel de bodem bereiken, in de locaties van de leeftijdreeks

Locatie	CN-verhouding Organische laag	CN-verhouding Naalden in strooiselval
grove den 20	35.1	50.1
grove den 60	28.6	43.1
grove den 90	27.6	44.1
grove den 130	27.8	41.4



Afbeelding 4. Stikstofomzettingen (linker Y-as) in de organische laag en in de bovenste 5 cm van de minerale bodem, in relatie tot nitraatuitspoeling (rechter Y-as). De omzettingssnelheden zijn uitgerekend als de som van de snelheden in de organische laag en in de bovenste 5 cm van de minerale bodem (Afbeelding 2).

zijn dan ook met name de nitraatconcentraties in de bovenste 50 cm van de bodem die in deze locatie erg hoog zijn. Verschillen in stikstofomzettingen tussen heide en gras hangen samen met de chemische samenstelling van het strooisel. Deze speelt ook een rol in de beukenlocatie. Hier spoelt relatief weinig nitraat uit en is de nitrificatiesnelheid erg laag (Afbeelding 4), waarschijnlijk als gevolg van relatief slechte afbreekbaarheid van het beukenblad.

Een uitzonderlijke rol speelt de kapvlakte. Bij een relatief lage stikstofdepositie ($12 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$), spoelt er door het ontbreken van vegetatie een grote hoeveelheid nitraat ($60 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$) naar het grondwater. Verhoogde nitraatuitspoeling na kap is een bekend verschijnsel (Vitousek, 1981) en wordt verklaard door een combinatie van sterk verminderde stikstofopname door het ontbreken van de bomen en een verhoogde mineralisatie- en nitrificatiesnelheid als gevolg van veranderde abiotische omstandigheden, zoals temperatuur en vocht. Bijna twee jaar na het kappen zijn de nitraatconcentraties nog steeds hoog ($100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$). Nitraatuitspoeling na het kappen van een stikstof-verzadigd bosesysteem kan een serieuze be-

dreiging vormen voor de grondwaterkwaliteit

Conclusies

Nitraatuitspoeling vanuit bossen op de Veluwe vormt een potentiële bedreiging voor de grondwaterkwaliteit. Belangrijke factoren die de mate van nitraatuitspoeling bepalen zijn stikstofdepositie, leeftijd van de opstand en het beheer. Bij dit laatste speelt met name ook het kappen van bossen een belangrijke rol.

Van essentieel belang is dat middels landelijke maatregelen de stikstofdepositie wordt vermindert. Daarnaast dienen naar onze mening beheerplannen voor de Veluwe te worden getoetst en zo mogelijk worden bijgesteld met betrekking tot mogelijke effecten op de nitraatuitspoeling. Dit onderzoek heeft aangetoond dat het beheer van de Veluwse bossen kan bijdragen tot het beperken van de nitraatuitspoeling. 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 Veluwse situatie inhouden het creëren van

opstanden met een evenwichtige leeftijdsopbouw, die middels selectieve kap wordt gehandhaafd. Op die manier kan de productie van goed drinkwater ook voor volgende generaties worden gegarandeerd.

Het hier geschetste bosbeheer sluit uitstekend aan bij het geïntegreerd bosbeheer zoals dit sinds enkele jaren vanuit de overheid wordt gepropageerd. Enkele vuistregels hierbij zijn kleinschalige kap en het stimuleren van meer structuur in het bos middels bijvoorbeeld open plekken en verschillende ontwikkelingsfasen naast elkaar. Slechts de eveneens aanbevolen natuurlijke verjonging en het creëren van oud bos met dikke, oude bomen, verdient naar aanleiding van de resultaten van dit onderzoek wellicht bijstelling.

Literatuur

- Boxman, A.W., & A. Tietema. 1998. Is stikstofverzadiging in Nederlandse bossen omkeerbaar? Nederlands Bosbouw Tijdschrift (dit nummer).
- Tietema, A. 1997. Meten en modelleren van nitraatuitspoeling vanuit bossen op de Veluwe. Rapport Nr. 68. Fysische Geografie en Bodemkunde, Universiteit van Amsterdam, 70 p.
- Tietema, A. & C. Beier. 1995. A correlative evaluation of nitrogen cycling in the forest ecosystems of the EC projects NITREX and EXMAN. *Forest Ecology & Management* 71: 143-151.
- Vitousek, P.M. 1981. Clear-cutting and the nitrogen cycle. In: Clark, F.E. & T. Roswall (Eds). *Terrestrial Nitrogen Cycles*. *Ecological Bulletin* 33: 631-642.