

Bos onder dak

Langetermijneffecten van stikstofdepositie in bos

— Dries Boxman

Is stikstofverzadiging in een bos omkeerbaar als je de stikstofdepositie vermindert? En als het omkeerbaar is, zal het ecosysteem zich dan ook herstellen? Om dat te onderzoeken werd in 1989 begonnen met het monitoren van de (doorval)depositie en het uitvoeren van een uniek, grootschalig veldexperiment in een grove dennenbos in Ysselsteyn (Limburg). Hiervoor werd van het proefbos een gedeelte van 300 vierkante meter overkapt met een doorzichtig dak, waardoor water met een veel lager stikstofgehalte toegediend kon worden. In 2001 is het onderzoek uitgebreid met experimenten rondom beheersmaatregelen als bekalken, compenserende mineralengiften en plaggen. Dit om te zien of deze beheersmaatregelen, in combinatie met een verlaging van het depositieniveau tot de streefwaarde voor 2010, het ecosysteem versneld helpen herstellen.

Ruim honderd jaar geleden bevatte de Nederlandse bosbodem aanzienlijk minder stikstof dan tegenwoordig. De hoeveelheid stikstof in deze ecosystemen is van nature beperkt en bepaalt de productie. De aanvoer van stikstof via de atmosfeer (neerslag en stof) was gering, terwijl er ook nauwelijks verliezen naar het grondwater optraden: de stikstofcyclus was hierdoor nagenoeg gesloten en bossen gingen zeer efficiënt met hun stikstof om. Uit een enkele publicatie blijkt dat in de



Foto's Dries Boxman

vijftiger jaren van de vorige eeuw het grondwater onder bossen nauwelijks stikstof bevatte. In de tweede helft van de vorige eeuw werd de aanvoer van stikstof in de bossen sterk hoger door de toename in intensieve veeteelt (ammonium-stikstof), verkeer en industriële activiteit (nitraat-stikstof). Hierdoor werd de stikstofbeperking opgeheven, waarop veel bomen reageerden met een groeitoename. Een langdurige, hoge aanvoer van stikstof leidde echter tot meer stikstof dan de optimale hoeveelheid voor maximale groei in het ecosysteem, waarna groeireductie optrad. Zodra de aanvoer de vraag overtreft wordt de overtollige stikstof opgeslagen in de verschillende compartimenten van het ecosysteem, zoals de bomen, de ondergroei, de strooisellaag en de minerale bodem. Deze opslagcapaciteit is echter beperkt en wordt in veel Nederlandse bossen nu overschreden. Het gevolg is dan ook dat stikstof in de vorm van nitraat uitspoelt naar het bodemwater. Een dergelijk ecosysteem wordt stikstofverzadigd genoemd. Hoewel de precieze depositie in 1900 niet bekend is, wordt deze geschat

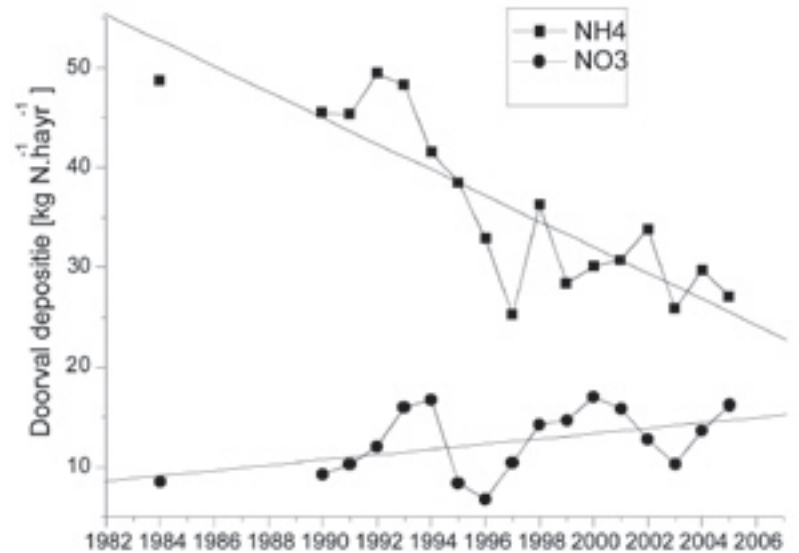
op minder dan 5 kilogram stikstof per hectare per jaar. Tegenwoordig is de depositie circa 40 kilogram. Metingen op 90 centimeter diepte laten zien dat het ecosysteem stikstofverzadigd is: bij een input van circa 48 kilogram stikstof per hectare per jaar (gemiddeld over laatste 15 jaar) spoelt maar liefst 40 kilogram uit naar het grondwater.

Ontwikkelingen in de depositie

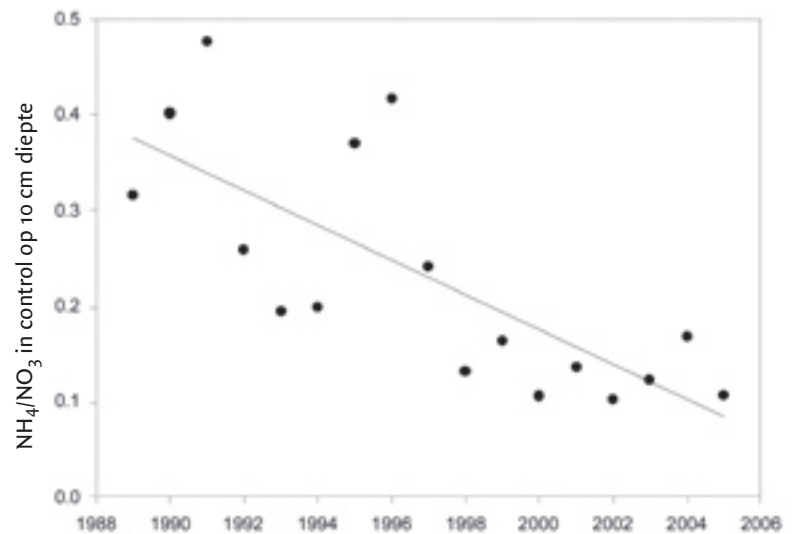
Sinds de tachtiger jaren is de totale stikstofdepositie met ongeveer 35 procent afgenomen van 60 naar 40 kilogram stikstof per hectare per jaar. De daling van de totale stikstofdepositie komt voornamelijk op rekening van de ammoniumdepositie. Uit figuur 1 blijkt dat de ammoniumdepositie een duidelijk dalende trend laat zien, terwijl de nitraatdepositie juist een stijgende trend weergeeft. De daling van de ammoniumdepositie moet aan het gevoerde Nederlandse beleid worden toegeschreven, zoals mestinjectie bij uitrijden, afgedekte mestopslag en emissiearme stallen. De toename in nitraatdepositie is mogelijk het gevolg van de



Figuur 1 Trends in stikstofdepositie



Figuur 2 De verhouding tussen ammonium en nitraat op 10 cm diepte



toegenomen mobiliteit in de regio. Door de verandering in het depositiepatroon is de verhouding tussen ammonium en nitraat in de doorvalneerslag sinds 1984 met een factor drie afgenomen. Als gevolg hiervan neemt deze verhouding in het bodemvocht ook af (figuur 2). Wat dit voor consequenties voor ecosystemen zal hebben, is nog onduidelijk. In sterk gebufterde milieus wordt ammonium snel genitrificeerd tot nitraat dat, als het niet wordt opgenomen door de vegetatie, uitspoelt, of onder natte omstandigheden wordt gedenitrificeerd tot stikstofgas en naar de atmosfeer verdwijnt:

$$4\text{NO}_3^- + 5\text{CH}_2\text{O} (\text{humus}) + 4\text{H}^+ \rightarrow 2\text{N}_2 + 5\text{CO}_2 + 7\text{H}_2\text{O}$$

In de van nature zure, droge bosbodems is de nitrificatie sterk geremd, waardoor ammonium ophoopt en de ammonium-nitraatverhouding hoog kan zijn. Een lage ammonium-nitraatverhouding zou positieve effecten op ecosystemen kunnen hebben omdat de concentratie van het voor veel planten giftige ammonium afneemt. Nitraat is veel mobieler dan ammonium en spoelt vervolgens uit, wat leidt tot een lagere

Te veel stikstof: degradatie ecosysteem

Een langdurige hoge depositie van stikstof leidt tot een ernstige degradatie van het ecosysteem. Een groot deel van de aangevoerde stikstof bestaat uit ammonium-stikstof, wat in de bodem door bacteriën wordt omgezet in nitraat en zuur.



Nitraat is, in tegenstelling tot ammonium, heel mobiel en de overmaat zal via het bodemvocht uitspoelen naar het grondwater. Samen met het nitraat spoelen essentiële voedingsstoffen weg, zoals kalium, calcium en magnesium. Dit leidt tot een ernstige verstoring van de mineralenbalans in de bodem, wat leidt tot een onevenwichtige voedingsstoffentoestand met gebreksziekten in de vegetatie als uiteindelijk gevolg. Door het gevormde zuur kunnen in de bodem aanwezige aluminiumverbindingen in oplossing gaan, wat tot vergiftiging van de boomwortels en een achteruitgang van de boomvitaliteit leidt. Een bijkomend milieueffect van stikstofverzadiging is dat een verhoogde nitraatuitspoeling vervuiling van het grond- en oppervlaktewater veroorzaakt.

stikstofconcentratie in de bodem. Voor zowel natuurbeheer als natuurbeleid is het van groot belang dat de mechanismen en effecten van de processen en interacties van de verschillende stikstofvormen op de vegetatiesamenstelling worden onderzocht. Hierover is nog maar weinig bekend.

De reactie van het bos

In dit veldexperiment werd de stikstofdepositie verlaagd naar circa 5 kilogram stikstof per hectare per jaar. Hiervoor werd een doorzichtig dak van 300 vierkante meter in het bos gebouwd om te voorkomen dat vervuilde neerslag de bosbodem bereikt. In plaats van de vervuilde regen krijgt de bodem onder het dak schone, nagenoeg stikstofvrije neerslag. Vermindering van de stikstofdepositie leidt tot een zeer snelle vermindering van de stikstofconcentratie in het bodemvocht. Binnen één jaar is de voedingsstoffenbalans al verbeterd en is de uitspoeling van nitraat op 90 centimeter diepte met een factor vijf gedaald tot onder de nitraatnorm voor grondwater. Vanuit de vaste fase van de bodem is er slechts weinig nalevering.

Dit neemt niet weg dat er nog een enorme voorraad stikstof in de bodem aanwezig is (circa 750 kilogram per hectare in de strooisellaag, circa 2500 kilogram per hectare in de organische laag en circa 3400 kilogram per hectare

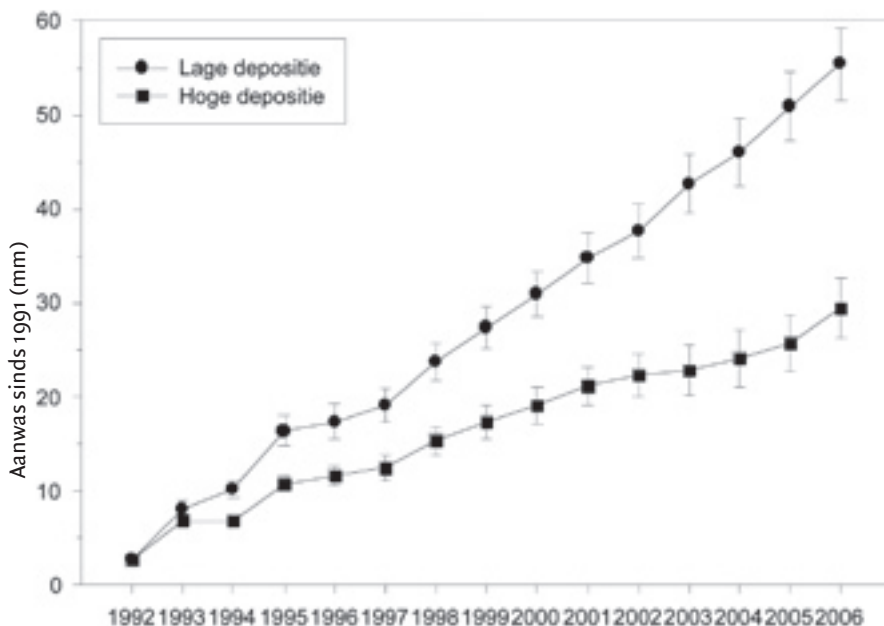
in de 0-30 cm minerale laag). Op zich is dit niet zo erg omdat het stabiel aan de bodemdeeltjes in de minerale laag gebonden zit. In de organische laag is stikstof opgesloten als organisch gebonden stikstof in bijvoorbeeld micro-organismen en in levende en dode delen. Het is echter onbekend wat met deze hoeveelheid stikstof in de toekomst zal gebeuren. Omdat de stikstofvoorraad zo groot is, kan elke verandering in de structuur, bijvoorbeeld een insectenplaag, een storm waarbij een groot aantal bomen omwaait, dunnen of kaalkap leiden tot nitraatmobilisatie. Van al deze verstoringen is namelijk bekend dat ze gepaard gaan met een verhoogde nitraatuitspoeling, omdat de vegetatie het niet meer kan opnemen of dat de vegetatie zelfs is verdwenen en de ondergrondse delen vergaan. Hoe dit precies in z'n werk gaat is niet bekend, mogelijk spelen een veranderde bodemtemperatuur en vochtgehalte een rol. Komen grote hoeveelheden tegelijk vrij dan kan dit een serieuze bedreiging voor het ecosysteem en het grond- of drinkwater betekenen.

De bomen in de hele opstand zijn er slecht aan toe. Als gevolg van een onevenwichtige voedingstoestand in de bodem zijn ze slecht gegroeid. De naalden bevatten te veel stikstof en in verhouding te weinig kalium en magnesium. Hierdoor is de nutriëntenbalans (bijvoorbeeld

de verhouding van kalium of magnesium ten opzichte van stikstof) in de naalden zeer slecht, wat indicatief is voor bomen met een slechte vitaliteit (gebreksziekte). Bij afname van de stikstofdepositie in het 'schone' proefveld onder het dak neemt het stikstofgehalte in de naalden significant af, maar is het nog steeds te hoog. De voedingsstoffenbalans is verbeterd en qua kalium-stikstofverhouding op een normale waarde gekomen. De magnesium-stikstofverhouding is ook verbeterd, maar nog steeds onvoldoende. De verbeterde voedingsstoffenhuishouding heeft wel geleid tot een verbeterde boomgroei (bijna verdubbeld in 15 jaar, zie figuur 3).

De ondergroei in de opstand bestaat uit stikstofminnende soorten als stekelvaren en braam. Vermindering van de stikstofaanvoer heeft geleid tot het verdwijnen van de braam en een achteruitgang van de varens. Tot op heden hebben zich echter nog geen nieuwe soorten gevestigd, wat mogelijk te maken heeft met een dikke, ondoordringbare organische strooisellaag. Verzuring leidt namelijk tot een remming van de strooiselafbraak waardoor deze zich gaat ophopen. Wel zijn weer kiemlingen van de grove den gesignaleerd. Sinds 1993 worden er ook weer mycorrhiza-paddenstoelen gevonden. Inmiddels zijn vijf soorten teruggekeerd. Deze paddenstoelen zijn sinds de jaren tachtig niet

Figuur 3 Boomgroei sinds 1991



meer gesignaleerd, terwijl er enkele decennia daarvoor tientallen soorten voorkwamen.

Bekalken, bemesten of plaggen?

Verlaging van de stikstofdepositie tot waarden van begin vorige eeuw zijn momenteel zeer onrealistisch. De Nederlandse regering heeft zich daarom in het NMP4 ten doel gesteld om de stikstofdepositie in bossen in 2010 verlaagd te hebben naar de 'critical load'-waarde van 15 tot 20 kilogram stikstof per hectare per jaar. Een belangrijke vraag is of dit volstaat of dat er aanvullende maatregelen nodig zijn. Om dit te onderzoeken is het veldwerk in Ysselsteyn uitgebreid. Onder het dak wordt de reactie van de bodem gevolgd bij verlaagde stikstofaanvoer; buiten het dak bij bestaande stikstofaanvoer, beide in combinatie met :

1. bekalken, om de gevolgen van verzuring tegen te gaan,
2. plaggen, om de overmaat aan stikstof in de organische laag te verwijderen en
3. compenserende bemesting met mineralen om de voedingsstoffenbalans ten opzichte van stikstof in de bodem te herstellen.

Drie jaar na de start van de beheersmaatregelen kan worden geconcludeerd dat het terugdringen van de stikstofaanvoer een cruciale factor is in het herstel van de bodemchemie. Op dit moment lijkt bekalken het minst succesvol, wat

in overeenstemming is met de bevindingen van een onlangs gehouden evaluatie van deze maatregel. Bij lage stikstofaanvoer, in combinatie met plaggen en bemesten, zijn de concentraties ammonium en nitraat in het bodemvocht significant gedaald en is de voedingsstoffen balans verbeterd. Op 90 centimeter diepte is de uitspoeling van nitraat, samen met de begeleidende basische kationen kalium, magnesium en calcium sterk verminderd, waardoor deze beschikbaar blijven voor de vegetatie.

Hoe nu verder?

Uit alle onderzoeken blijkt stikstof een sleutelfactor te zijn voor herstel van het ecosysteem. Bij een daling van de stikstofaanvoer tot achtergrondwaarden blijkt de bodemchemie zeer snel te reageren: binnen één jaar is de voedingsstoffenbalans in de bodemoplossing verbeterd en is de nitraatuitspoeling naar het grondwater verminderd. Na enkele jaren zijn ook vitaliteitsverbeteringen in de bomen zichtbaar: onder andere een verbeterde groei en een verbeterde voedingsstoffenhuishouding. Daarnaast neemt de stikstofminnende ondergroei af, maar er komen geen nieuwe soorten voor terug. Het is wel verheugend dat mycorrhiza-paddenstoelen terugkeren. Zelfs met een zeer drastische terugdringing van de stikstofdepositie is het ecosysteem na bijna twintig jaar nog niet in een

ideale situatie: zo is bijvoorbeeld de verhouding tussen stikstof en magnesium in de naalden nog steeds onvoldoende.

Dit betekent dat bij een kleinere daling van de stikstofaanvoer (zoals gepland voor 2010), mogelijk aanvullende beheersmaatregelen, zoals bekalken, bemesten en plaggen, genomen dienen te worden. Dit onderzoek laat zien dat plaggen en een compenserende bemesting momenteel de beste kansen bieden. Omdat plaggen in bossen geen reguliere maatregel is, is dit jaar op drie locaties gestart met een plagproef. Reguliere maatregelen in multifunctionele bossen zijn subsidiabele maatregelen in het kader van het OBN-programma waarvan bewezen is dat ze effecten van verzuring en vermisting tegengaan. Als blijkt dat plaggen effectgericht blijkt te zijn, kan dit een reguliere maatregel worden. De beheersmaatregelen bekalken en bemesten beogen langetermijneffecten van twintig en tien jaar, respectievelijk, waardoor het belangrijk is deze behandelingen nog enige tijd te volgen. ♦

Dr. Dries Boxman werkt op de afdeling Aquatische Ecologie en Milieubiologie van de Radboud Universiteit Nijmegen. E-mail: d.boxman@science.ru.nl

