

IS STIKSTOFVERZADIGING IN NEDERLANDSE BOSSEN OMKEERBAAR?

A.W. Boxman

Veel Nederlandse bossen zijn met stikstof verzadigd. Dit leidt tot vitaliteitsproblemen van de vegetatie en verontreiniging van het grondwater met nitraat. Daarom is in 1989 een uniek experiment gestart. Met de bouw van een dak in een grove dennenbos nabij Ysselsteyn in de Peel wordt voorkomen dat vervuilde neerslag de bosbodem bereikt. In plaats van de vervuilde neerslag met daarin de hoge concentraties aan stikstof, krijgt de bodem onder het dak schone, stikstofvrije neerslag. Het onderzoek moet duidelijk maken of het ooit nog goed kan komen met de bossen.

Stikstof is een belangrijke voedingsstof voor planten. Veel bosesystemen zijn van nature *stikstofbeperkt*. Dat betekent dat de productie wordt bepaald door de hoeveelheid beschikbaar stikstof. De aanvoer van stikstof via de neerslag was in de oorspronkelijke situatie gering, en er waren ook nauwelijks verliezen naar het grondwater. De overtollige stikstof werd opgeslagen in de verschillende compartimenten van het ecosysteem, zoals de bomen, de ondergroei, de strooisellaag en de minerale bodem. De stikstofcyclus was nagenoeg gesloten en bossen gingen zeer efficiënt met het stikstof om.

Sinds een aantal decennia is de aanvoer van stikstof in de Nederlandse bossen sterk verhoogd als gevolg van de groter geworden veestapel (ammonium-stikstof), het toegenomen verkeer en de toegenomen industriële activiteit (nitraat-stikstof). De opslagcapaciteit van het bos is echter beperkt en wordt in veel Nederlandse bossen overschreden. Hoewel de stikstofdepositie van ongeveer honderd jaar geleden niet nauwkeurig bekend is, wordt geschat dat de huidige stikstofdepositie ongeveer 50 keer hoger is. Het gevolg is dan ook dat stikstof in de vorm van nitraat uitspoelt via het bodemwater. Een dergelijk ecosysteem wordt *stikstofverzadigd* genoemd. De stikstofbeperking is opgeheven en een andere voedingsstof is limiterend geworden voor de productie.

De proefopstelling in het najaar van 2001. Foto: A.W. Boxman.

Omkeerbaar?

Bij een voortzetting van de verhoogde stikstofaanvoer in een *stikstofverzadigd* ecosysteem treden negatieve verschijnselen op. Een groot deel van de aangevoerde stikstof, in de vorm van ammonium-stikstof, wordt in de bodem door bacteriën omgezet in nitraat en zuur. Nitraat is, in tegenstelling tot ammonium, heel mobiel en de overmaat zal uitspoelen via het bodemwater. Mede door de verzuring spoelen ook essentiële voedingsstoffen weg zoals kalium en magnesium. Dit leidt tot een verstoring van de mineralenbalans in de bodem, met gebrekverschijnselen in de vegetatie als uiteindelijk gevolg.

Door het gevormde zuur kunnen aluminiumverbindingen in de bodem in oplossing gaan, wat tot vergiftiging van de boomwortels en een achteruitgang van de boomvitaliteit leidt. Bovendien leidt stikstofverzadiging uiteindelijk tot een verhoogde nitraatuitspoeling naar het drinkwater.

Bij het formuleren van beleidsmaatregelen om de atmosferische depositie te verlagen, is het belangrijk om te weten of dit proces van stikstofverzadiging omkeerbaar is en of de negatieve effecten kunnen worden verminderd door een verlaging van de aanvoer van stikstof. Om dit te onderzoeken is in 1989 een project gestart in een grove-dennenbos nabij Ysselsteyn in de Peel.

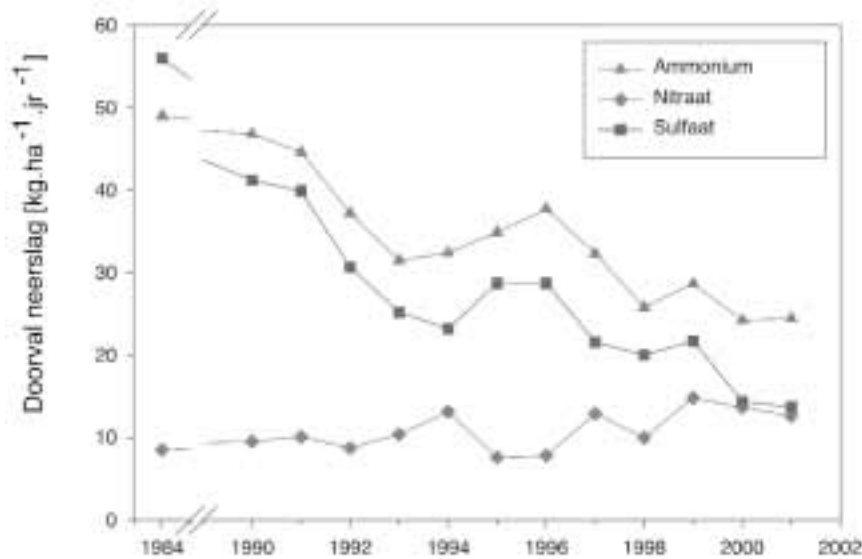
Dak over de bomen

De onderzoekslocatie is een ongeveer vijftig jaar oude grove-dennen opstand in het 40 ha groot natuurgebied "De Rouwkuilen" bij Ysselsteyn in Limburg. In de onmiddellijke omgeving van het gebied zijn veel intensieve veehouderijbedrijven. Als gevolg hiervan is de depositie van stikstof zeer hoog: ongeveer 60 kg stikstof per hectare per jaar.

De opstand valt in de vitaliteitsklasse 3, wat een naaldverlies van 26-60% aangeeft. Hoewel de bomen weinig naaldverkleuring laten zien, vertonen veel

127





Figuur 1. Doorvaldepositie, gecorrigeerd naar een standaardjaar met 500 mm doorvalneerslag.

128

bomen vervormingen aan de stam, wat op een gestoorde groei wijst. De ondergroei bestaat uit een goed ontwikkelde laag van stikstofminnende plantensoorten: braam, brede stekelvaren, pijpinstroetje, bochtige smele en enkele mossen.

In het bos is een transparant dak op 2-3 meter hoogte geplaatst. De bomen stekken met hun stammen door het dak. Onder dit dak zijn twee proefvelden (dak-schoon en dak-controle) van 10x10m met ongeveer tien bomen per proefveld ingericht. Buiten het dak is een tweede controle proefveld aangelegd.

De neerslag die op het dak boven het dak-schoon proefveld valt, wordt afgevoerd en vervangen door evenveel kunstmatige regen in de vorm van gedemineraliseerd water. Hieraan worden alle nutriënten toegevoegd, uitgezonderd stikstof en zwavel. De neerslag die op het dak boven het dak-controle proefveld valt, wordt op het dak-controle proefveld gesproeid. De neerslag wordt eerst opgevangen in een voorraadvat. Na ± 2 mm neerslag treedt een automatische sprinklerinstallatie in werking die beide proefvelden van neerslag voorziet. Vergelijking van de twee proefvelden onder het dak geeft op deze manier een indicatie van de gevolgen van verminderde stikstofdepositie. De vergelijking van beide controle-proefvelden geeft een indicatie van de effecten van het dak.

Zware buien

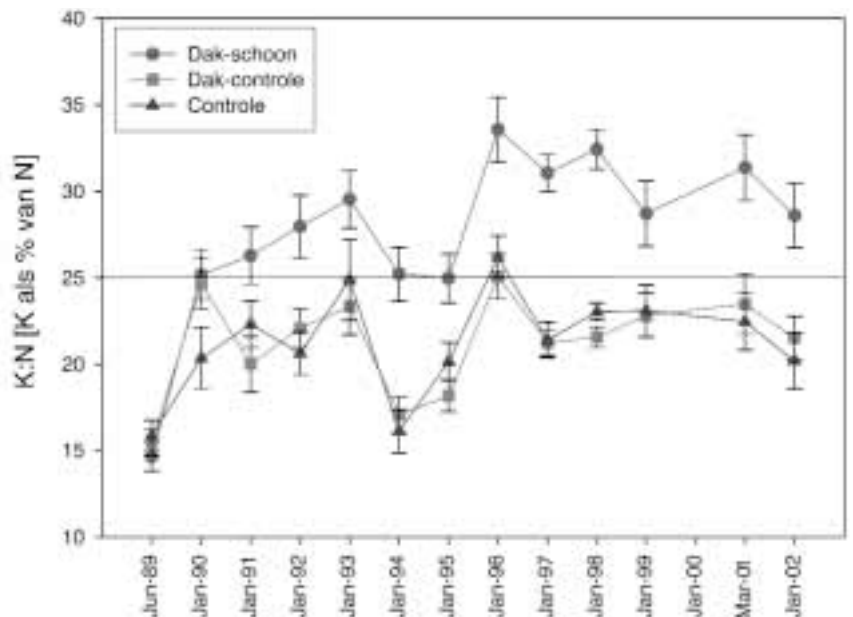
In de twee proefvelden wordt de depositie gemeten, de chemische samenstelling van het bodemvocht op tien en op negentig centimeter diep. De voedingsstoestand van de naalden wordt jaarlijks gemeten als maat voor de "gezondheid" van de bomen. Verder wordt ieder voorjaar de aanwas van de stammen op borsthoogte bepaald. Regelmatig worden de naaldval, de wortelbiomassa en de bezetting van de wortels met mycorrhiza-schimmels bepaald. Mycorrhiza's zijn "samenlevingsverbanden met wederzijds voordeel" tussen schimmels

en boomwortels. De schimmel helpt de boom met de opname van de benodigde voedingsstoffen, terwijl de boom de schimmel van suikers voorziet. De voortplanting van de schimmel gebeurt via de ons bekende paddestoelen. Ieder najaar wordt in subproefvelden de bovengrondse biomassa van de vegetatie bepaald en worden paddestoelen geteld.

De bouw van het dak zelf heeft tot kleine verschillen met de natuurlijke situatie geleid. Onder het dak komt 5 tot 10 procent minder licht en ook de hoeveelheid neerslag op de proefvelden onder het dak is 10 tot 15 procent minder. Bij zware buien kunnen de afvoergoten niet al het water verwerken en stromen ze over. Als gevolg van een technische storing treedt soms ook waterverlies op. Verschillen in lucht- en bodemtemperatuur en relatieve vochtigheid zijn gering.

Katalysatoren ten spijt

De gemiddelde stikstofdepositie in de doorval bedroeg in 1990 ongeveer 60 kg stikstof per hectare per jaar (waarvan 84% als ammonium-stikstof en 14% als nitraat-stikstof) en ongeveer 40 kg zwavel per hectare per jaar (Figuur 1). Ter vergelijking: de stikstofdepositie in schone gebieden als in Noord-Scandinavië en Canada is niet meer dan een paar kilo per hectare per jaar.



Figuur 2. De kalium/stikstof verhouding (K:N) verhouding in de naalden als maat voor de voedingsstoffenbalans. Waarden >25 worden als normaal beschouwd.

Gedurende de laatste jaren is op de proeflocatie in Ysselsteyn overigens wel al een afname van zowel de stikstof als de zwaveldepositie waargenomen, met een duidelijk omslagpunt in 1994/95. De stikstofdepositie in 2001 bedroeg 47 kg stikstof per hectare, 65% ammonium- en 35% nitraat-stikstof.

Deze getallen laten zien dat het aandeel van ammonium veel sterker is gedaald dan het aandeel nitraat. De afname van de stikstofdepositie is zelfs geheel te danken aan een vermindering van de ammoniumdepositie en is het positieve gevolg van het gevoerde mestbeleid: de sanering van bedrijven, injectie en onderwerken van de mest, uitrijverbod in de winter, afgedekte opslag en transport en het aanbrengen van stalluchtzuivering. De nitraatdepositie blijft alle katalysatoren in de auto's ten spijt, onverminderd hoog als gevolg van de toenemende automobiliteit. Ook wat betreft de zwaveldepositie is een duidelijke afname te zien als gevolg van de filtering van de industriële uitstoot en het gebruik van zwavelarme brandstoffen: in 2001 18 kg zwavel op een hectare.

Metingen in het bodemprofiel laten duidelijk zien dat dit boscysteem stikstofverzadigd is. Onder de bewortelingszone op 90 cm diepte spoelt maar liefst 60 kg stikstof per hectare per jaar uit met een gemiddelde nitraatconcentratie van ongeveer 1800 mmol per liter (111 mg per liter).

De gevolgen van depositievermindering

Als gevolg van de experimentele behandeling is de depositie in het dak-schoon proefveld afgenomen tot ca. 5 kg stikstof per hectare per jaar en ca. 3 kg zwavel per hectare per jaar. Een reductie van de stikstofaanvoer in het dak-schoon proefveld heeft tot een spectaculair effect op de stikstofcyclus in de bodem geleid. Binnen één jaar na de start van de behandeling daalde al de stikstofuitspoeling naar het grondwater. In het drainagewater op 90 cm diepte in het dak-schone proefveld daalde de nitraat concentratie tot ca. 330 mmol per liter en dat is zelfs beneden de toekomstige nitraatnorm voor grondwater. Momenteel is de norm nog 800 mmol



Het is belangrijk om te weten of het proces van stikstofverzadiging omkeerbaar is en of de negatieve effecten kunnen worden verminderd door een verlaging van de aanvoer van stikstof. Foto: A.W. Boxman.

per liter maar dat wordt 400 mmol per liter.

Dit betekent dus dat er bij een vermindering van de depositie een zeer snelle reactie in het bodemvocht optreedt. Er vindt slechts weinig nalevering vanuit de vaste fase van de bodem plaats. Dit neemt echter niet weg dat er nog steeds een enorme voorraad stikstof (ongeveer 2000 kg per hectare) in de bodem gebonden zit. Op zich is dit niet zo erg, omdat het stevig aan de bodemdeeltjes verankerd zit. Wat met deze hoeveelheid stikstof in de toekomst zal gebeuren, is vooralsnog onbekend. Omdat de stikstofvoorraad zo groot is, kan elke verandering in de structuur, bijvoorbeeld door een insectenplaag, een storm waarbij een groot aantal bomen omwaait, dunnen of kaalkap lei-

den tot nitraatmobilisatie. Van al deze verstoringen is namelijk bekend dat ze gepaard gaan met een verhoogde nitraatuitspoeling.

Omdat de voor de vegetatie makkelijk beschikbare fractie stikstof is afgenomen, is de verhouding ten opzichte van de overige voedingsstoffen ook afgenomen, en dat is gunstig voor de voedingsstoffenbalans in de bodemoplossing. Ammonium/kalium verhoudingen van groter dan 5, zijn zeer ongunstig. Als gevolg van de depositievermindering is deze verhouding gedaald van 5 naar 1. De concentratie vrij aluminium is in het schone proefveld gedaald en de pH is gestegen van 3,1 naar 3,3. Vermindering van de stikstof belasting resulteert verder in een verhoogde wortelgroei en mycorrhiza-

bezetting van de fijne wortels. Dit betekent dat naast een verbeterde voedingsstoffentoestand in de bodem, ook de opnamecapaciteit van voedingsstoffen van de bomen is verbeterd.

De bomen

De bomen in de opstand zijn er slecht aan toe. Ze zijn slecht gegroeid, de naalden bevatten veel stikstof en weinig kalium en magnesium. De optimale concentraties voor stikstof, kalium en magnesium zijn respectievelijk 1,6%, >0,5% en >0,05%, terwijl bij de start van het onderzoek de concentraties respectievelijk 2,5%, 0,35% en 0,04% waren. Als gevolg van deze hoge concentraties is de nutriëntenbalans (dat is de verhouding van kalium of magnesium ten opzichte van stikstof) in de naalden zeer slecht. De gemiddelde N:K en N:Mg verhoudingen zijn zeer laag: 15 en 1,7 respectievelijk, terwijl waarden >25 en >5 normaal zijn.

Bij de start van het manipulatie-experiment werden geen verschillen gevonden in nutriëntengehaltes van de naalden tussen de verschillende proefvelden, waardoor de uitgangssituatie voor de drie proefvelden hetzelfde was. Door het stikstofrijke water af te vangen is het stikstofgehalte in de naalden duidelijk gedaald, hoewel nog steeds hoog. De nutriëntenbalans is in de naalden van het dak-schone proefveld sterk verbeterd. De K:N verhouding (nu >30) is op een normaal niveau gekomen (figuur 2), terwijl ook de Mg:N verhouding aanzienlijk is verbeterd (>4), maar is nog steeds verre van optimaal (<5). De verbeterde voedingsstoffenhuishouding heeft ook geleid tot een verbeterde boomgroei. Sinds 1991 is de aanwas van de bomen in het dak-schone proefveld met 60% toegenomen ten opzichte van de bomen in het controleproefveld. Vermindering van de aanvoer van de voedingsstof stikstof laat de bomen dus weer harder groeien!

De ondergroei

De ondergroei in de opstand bestaat uit stikstofminnende soorten als stekelvaren en braam. Vermindering van de stikstofaanvoer heeft geleid tot een achter-

uitgang van deze soorten. Tot op heden hebben zich echter nog geen nieuwe soorten gevestigd. Wel zijn weer kiemlingen van de grove den gesignaleerd. Sinds 1993 worden er in het dak-schone proefveld wel weer mycorrhiza-paddenstoelen gevonden. Die waren in de jaren tachtig helemaal verdwenen terwijl er enkele decennia daarvoor wel 50 soorten voorkwamen. Overigens, in een vergelijkbaar bosgebied maar verder weg van intensieve veehouderijen, komen nog wel een aantal soorten voor. Sinds 1993 komen alleen in het dak-schone proefveld deze paddestoelen weer voor. Inmiddels zijn vijf soorten teruggekeerd: de melkleverzwam, de gewone krulzoom, de kastanjeboleet, de parelamaniet en de geelwitte russula. In 1996 is zelfs de oorlepelzwam gesignaleerd. Een paddestoel van de Rode lijst, alhoewel geen mycorrhiza soort.

Conclusies

Het onderzoek laat zien dat *stikstofverzadiging* omkeerbaar is na vermindering van de stikstofdepositie. Al enkele maanden na vermindering van de stikstofdepositie is de nitraatuitspoeling naar het grondwater sterk verlaagd. Na enkele jaren blijken de kenmerkende en voor de boomvitaliteit nadelige verschijnselen omgebogen te zijn in de richting van de oorspronkelijke situatie, die van *stikstoflimitatie*. De hiermee gepaard gaande verbetering van de voedingstoestand in de bodem, resulteert na enkele jaren in een verbeterde boomvitaliteit in de vorm van verhoogde aanwas, verbeterde nutriëntenbalans in de naalden en meer fijne wortels met een hogere mycorrhizabezetting. Daarnaast neemt de nitrofiële ondergroei af en het aantal mycorrhiza-paddenstoelen toe. Een belangrijke vraag blijft echter wat er met de grote hoeveelheid opgeslagen stikstof zal gebeuren op de langere termijn. Afhankelijk van de stabiliteit en de vorm waarin het stikstof is opgeslagen, vormt het een potentieel gevaar om alsnog als nitraat uit te spoelen, na bijvoorbeeld verstoring van het ecosysteem. Daarmee zou de vrijgekomen stikstof alsnog kunnen leiden tot een verminderde boomvitaliteit en verontreiniging van grond- en oppervlaktewater.

Naast voortzetting van het net beschreven onderzoek loopt momenteel ook onderzoek naar drie beheersmaatregelen: compenserende bemesting, bekaliking en strooiselverwijdering. Deze maatregelen worden uitgevoerd in combinatie met een vermindering van de stikstofdepositie tot ca. 20 kg per hectare per jaar, de streefwaarde voor het jaar 2010. Bij dit onderzoek zal worden nagegaan welke maatregel(en) in de toekomst een succesvolle bijdrage kunnen leveren aan het herstel van de Nederlandse bossen.

A.W. Boxman werkt bij de afdeling *Aquatische Ecologie & Milieubiologie*, Universiteit Nijmegen.

E-mail adres: dries.boxman@sci.kun.nl

CURSUSSEN

Toepassing Flora- en faunawet en Natuurbeschermingswet

Tijdens deze studiemiddag krijgen de deelnemers handvatten aangereikt om de Flora- en faunawet en de Natuurbeschermingswet toe te passen in de praktijk en daarmee uitstel of afstel van ruimtelijke plannen te voorkomen. Welk ecologisch onderzoek moet er gedaan worden, en waarop wordt getoetst in het kader van de MER? Hoe zijn reeds in het ontwerpstadium de ecologische effecten te minimaliseren? De studiemiddag is bestemd voor iedereen die te maken heeft met de praktische gevolgen van de Flora- en Faunawet en de Natuurbeschermingswet zoals beleidsmedewerkers natuur, milieu en ruimtelijke ordening bij gemeenten, waterschappen, provincies en rijk, Rijkswaterstaat, projectontwikkelaars, aannemers, etc. Donderdag 28 november 2002 in Congrescentrum Engels te Rotterdam. De kosten voor deelname aan deze studiedag bedragen € 495,- (excl. BTW) per persoon. Voor meer informatie: Hans Rijnten, congresontwikkelaar, h.rijnten@ebi.nl. of Susan Beaujean, projectassistente, s.beaujean@ebi.nl, telefoon 070-4415743.