

Hierna volgend artikel is afkomstig uit:

De Levende Natuur

Doelstelling van 'De Levende Natuur' Het informeren over ontwikkelingen in onderzoek, beheer en beleid op het gebied van natuurbehoud en natuurbeheer, die van belang zijn voor Nederland en België.

De artikelen zijn vooral gebaseerd op eigen ecologisch onderzoek, ervaring of waarneming van de auteurs. De Levende Natuur verschijnt 6x per jaar, waaronder tenminste 1 themanummer. **Meer informatie op:**



www.delevendenatuur.nl

JA ik wil graag een abonnement op *De Levende Natuur*

naam: _____

adres: _____

postcode: _____ woonplaats: _____

e-mail: _____ tel.: _____

Ik machtig *De Levende Natuur* om het totale aangekruiste bedrag van mijn rekening af te schrijven:

bank/giro: _____

datum: _____ handtekening: _____

Graag aankruisen:

- proefabonnement** – € 9,90 (drie nummers)
- particulier** – € 29,50 (NL + B) – overige landen € 35,-
- instelling/bedrijf** – € 50,-
- student/promovendus** – € 9,90* * (max. vier jaar; graag kopie college- of PhD kaart bijvoegen)

Na vier jaar gaat dit abonnement automatisch over in een regulier abonnement.

De prijsontwikkeling kan het stichtingsbestuur dwingen de tarieven aan te passen.

Tevens bent u gerechtigd om uw bank opdracht te geven het bedrag binnen 30 dagen terug te boeken.

**U kunt zich
abonneren via
onze website**

U kunt ook bijgaande bon uitprinten
en ingevuld opsturen naar:

Abonnementenadministratie
De Levende Natuur,
Antwoordnummer 134
6700 VB Wageningen.

Tel. 0317 - 46 64 39
administratie@delevendenatuur.nl

www.delevendenatuur.nl



Effecten van verhoogde stikstofdepositie: is herstelbeheer zinvol?

Voor behoud van biodiversiteit zou het optimaliseren van de interne kwaliteit en de vergroting van bestaande natuurterreinen de hoogste prioriteit moeten hebben in de dichtbevolkte West-Europese landen (o.a. Ovaskainen, 2013). Echter, één van de belangrijkste bedreigingen voor de interne kwaliteit en diversiteit in Nederlandse natuurgebieden zijn de gevolgen van N- en (vroeger) S-depositie. Er wordt al sinds 1989 in het kader van EGM en later OBN veel onderzoek gedaan naar herstel van deze aantasting. In deze bijdrage wordt ingegaan op herstelmogelijkheden in de praktijk en in hoeverre herstelbeheer nu nog nodig is.

Effecten van hoge stikstofdepositie

Stikstofverbindingen zijn in veel halfnatuurlijke en natuurlijke ecosystemen in de gematigde en boreale zone van Europa beperkend voor de plantengroei en van invloed op de soortensamenstelling. Nogal wat plantensoorten zijn aangepast aan nutriëntenarme omstandigheden en kunnen alleen succesvol voortbestaan op bodems met lage stikstofniveaus. De effecten van verhoogde toevoer van stikstof op

ecosystemen zijn veelzijdig, complex en kunnen op verschillende tijdschalen optreden (o.a. Bobbink & Lamers, 1999). De optredende gevolgen betreffen 1) directe toxiciteit van hoge concentraties van gasen op individuele planten; 2) eutrofiëring (vermesting) door toename van de N-beschikbaarheid; 3) verzuring van bodem en water; 4) negatieve effecten van de verhoogde beschikbaarheid van gereduceerd N (ammonium); 5) toegenomen gevoelig-

heid voor secundaire stressfactoren, zoals schimmelinfecties en insectenplagen en vorst- of droogteschade; en tenslotte 6) verschuivingen in de chemische samenstelling (bijv. aminozuursamenstelling of N:P-ratio) van planten. Daardoor verandert de kwaliteit van de planten als voedsel voor herbivoren met allerlei gevolgen hoger in de voedselketen. Voor de samenhang tussen deze verschillende effectkensen, zie Bobbink et al. (2010). In kader 1 worden de drie belangrijkste kort toegelicht.

Stikstofdepositie in Nederland

De uitstoot (emissie) van luchtverontreiniging is in Nederland in de loop van de twintigste eeuw sterk toegenomen. Tot eind jaren zeventig van de vorige eeuw was zwaveldioxide (SO₂) de hoofdcomponent van luchtverontreiniging, maar daarna zijn stikstofverbindingen steeds belangrijker geworden. Op dit moment is de hoeveelheid zwaveldioxide in de Nederlandse lucht zelfs minder dan in 1900! Stikstofoxiden (NO_x: vooral NO₂ en NO)



Kader 1.

Verzuring, vermesting en effecten van gereduceerd N

VERMESTING

Een toename van de atmosferische stikstofdepositie in een voorheen schoon gebied leidt geleidelijk tot accumulatie van N-verbindingen in het ecosysteem, waardoor de beschikbaarheid ervan toeneemt. Dit leidt tot verdringing van minder concurrentiekrachtige soorten door meer stikstofminnende soorten (foto 1). Veelal gaat dit ten koste van karakteristieke soorten, aangezien deze soorten zijn aangepast aan een lage stikstofbeschikbaarheid in de bodem. Verhoogde toevoer van stikstof kan zo vooral in voedselarme tot matig voedselrijke systemen een sterke afname in soortendiversiteit veroorzaken (o.a. Clark & Tilman, 2008; Bobbink & Hettelingh, 2011).

VERZURING VAN BODEM EN WATER

Verzuring, oftewel afname van de buffercapaciteit, is een langetermijnproces dat ook van nature plaatsvindt door carbonzuur of organische zuren maar wat (zeer sterk) versneld kan worden

Foto 1. Beeld van de ondergroei van een boreaal bos in Zweden zonder extra N-gift (boven) en na 6 jaar behandeling (onder) met 12,5 kg N ha⁻¹ jr⁻¹. Dit onderzoek is uitgevoerd om de gevolgen van N-depositie in een schoon gebied te onderzoeken. Door N-vermesting is de bedekking van Bochtige smele (*Deschampsia flexuosa*) zeer sterk toegenomen, en zijn andere soorten verdrongen. Dit experiment is uitgevoerd bij een heersende N-depositie van ca. 2 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ (foto's: A. Nordin).

ontstaan hoofdzakelijk bij de verbranding van fossiele brandstoffen in de industrie, elektriciteitscentrales en verkeer. De grootste bron hiervan is op dit moment het (vracht)verkeer. Ammoniakgas (NH₃) komt vooral vrij door vervluchtiging uit mest en urine bij beweiding, in de stal of opslag, en vroeger als de mest uitgereden werd over het land.

De totale stikstofdepositie is in Nederland na 1950 tot aan het eind van de jaren tachtig van de vorige eeuw door de groei van de intensieve veehouderij en het gebruik van fossiele brandstoffen sterk gestegen (de Haan et al., 2008). Vanaf 1993 tot in 2003 is door allerlei maatregelen een daling (30-35 %) bereikt in de depositie van gereduceerd N (ammoniak en ammonium). De depositie van geoxideerd N (stikstofoxiden) is na 1945 gestegen, maar vakt eerder af dan de depositie van gereduceerd N. Na 1980-1985 is een zeer geleidelijke afname waargenomen. In de laatste drie tot vier decennia is gereduceerd N dan ook de overheersende vorm (> 75 %) van stikstofdepositie in Nederlandse natuurterreinen. Door de ruimtelijke verspreiding van de emissiebronnen en de verschillende transport- en omzettingsprocessen in de atmosfeer, is de depositie van N-verbindingen niet overal gelijk. Zo is de totale depositie van geoxideerd N in de stedelijke gebieden (o.a. Randstad) duidelijk hoger,

terwijl de totale depositie van gereduceerd N hoger is in het landelijk gebied, waarbij de hoogste waarden in het Peelgebied, de Gelderse Vallei, Twente en de Achterhoek worden gevonden. Na 2003 tot heden is de totale N-depositie min of meer constant gebleven, en de laatste twee jaar lijken de waarden weer wat hoger uit te komen (www.compendiumvoordeleefomgeving.nl). Dit alles betekent dat er ook nu nog een flink aantal natuurgebieden zijn met relatief hoge N-deposities, waardoor voor gevoelige vegetaties de kritische depositiewaarde (KDW) nog steeds wordt overschreden.

Overmatige stikstofdepositie grijpt dus vooral in op twee biogeochemische omstandigheden, te weten de buffercapaciteit van bodem of water, en de beschikbaarheid van voedingsstoffen en mineralen voor de vegetatie en de daarvan afhankelijke fauna. Om deze aantastingen het hoofd te bieden staan in het kader van herstel twee belangrijke strategieën ter beschikking, te weten (1) verwijdering van de extra geaccumuleerde stikstof uit door N-depositie vermeste systemen, en/of (2) herstel van de buffercapaciteit in verzuurde systemen, zodanig dat het bodemadsorptiecomplex weer wordt opgeladen met uitgespoelde kationen (vooral Ca-K-Mg) en de vertering van aluminiumhydroxiden gestopt wordt.

Herstel na N-vermesting

Verwijdering van de extra geaccumuleerde stikstof uit ecosystemen kan, afhankelijk van het systeem, op verschillende effectieve manieren gebeuren, zoals door extra te maaien en afvoeren, te plaggen of te baggeren. Deze maatregelen zijn vooral (goed) uitvoerbaar in halfnatuurlijke plantengemeenschappen, zoals soortenrijke droge en natte graslanden en heiden. Zo is bijvoorbeeld door in plaats van in de herfst, in de zomer te maaien de overheersing van Gevinde kortsteel (*Brachypodium pinnatum*) ingeperkt, en is door kleinschalig plaggen in niet-verdroogde natte heide een redelijk tot goed herstel opgetreden. Hierbij moeten wel restpopulaties van kenmerkende soorten worden uitgespaard, en liefst ook enig organisch materiaal. In zuurdere situaties (pH < 4,5) is daarbij een eenmalige bekalking (dolokal, 2 ton/ha) zeer effectief gebleken om de ammoniumpiek na plaggen te voorkomen. Ook in droge heide is sinds de jaren tachtig van de vorige eeuw veelvuldig geplagd, eerst grootschalig en later meer kleinschalig. Hierdoor is de vergrassing in droge heide sterk verminderd en wordt de vegetatie weer gedomineerd door Struikheide (*Calluna vulgaris*), maar een aanzienlijk deel van de vroegere, kenmerkende plantensoorten is niet terug gekomen (foto 2). Ook voor ongewervelde diersoorten is in

door de toevoer van verzurende stoffen (S, N) uit de atmosfeer. Afhankelijk van de bodemsamenstelling kan dit proces leiden tot een lagere pH, verhoogde uitspoeling van kationen (calcium, magnesium of kalium), verhoogde concentraties aan toxische metalen (vooral van aluminium) en veranderingen in de verhouding tussen nitraat en ammonium in de bodem (Ulrich, 1991; Bobbink & Lamers, 1999) (fig. 1). In deze situatie kunnen plantensoorten die bestand zijn tegen dergelijke zure omstandigheden gaan overheersen en verdwijnen de aan een meer gebufferd milieu aangepaste soorten.

NEGATIEVE EFFECTEN VAN TE HOGE BESCHIKBAARHEID VAN GEREDUCEERD N

In veel gebieden met hoge N-depositie overheerst gereduceerd N in de totale depositie. Dit kan tot gevolg hebben dat ammonium de overheersende N-vorm in de bodem is. Dit is vooral het geval in bodems met een van nature lage omzetting van nitraat naar ammonium (pH < 4,5) of wanneer de bodem ook is verzuurd door atmosferische depositie. De omzetting van nitraat naar ammonium is een microbiel proces dat nitrificatie wordt genoemd. Verhoogde concentraties ammonium in de bodem of in het water kunnen allerlei negatieve gevolgen voor

de plantengroei hebben. Deze effecten zijn het grootst in gebieden met voorheen matig gebufferde bodemcondities (pH 4,5-6,8) (Stevens et al., 2011). Daarom zijn relatief veel soorten uit deze matig gebufferde situaties op de Rode Lijst terecht gekomen, zowel in Nederland als Vlaanderen.

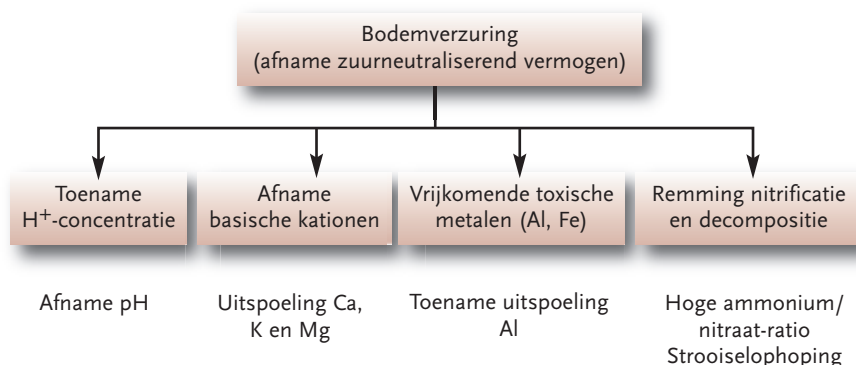


Fig. 1. Overzicht van factoren die in de bodem veranderen bij het proces van verzuring (afname van buffercapaciteit) (naar Bobbink & Lamers, 1999).

Foto 2. Overzicht van de droge heidevegetatie op de Borkeld, 12 jaar nadat daar in het kader van EGM was geplagd (foto: R. Bobbink). Hier is als regulier beheer gescheperde schapenbegrazing met verwijdering van vliegdennetjes uitgevoerd.

deze herstelde droge heide de situatie niet rooskleurig geworden. Veel kenmerkende, ongewervelde diersoorten zijn nog steeds sterk beperkt aanwezig in deze voorheen geplagde heide (Vogels et al., 2011). Hoogstwaarschijnlijk wordt dit probleem voor de ongewervelde fauna veroorzaakt door de veel te hoge N:P-ratio in de heidevegetatie na plaggen, in combinatie met het gebrek aan overige mineralen, waardoor de groei en ontwikkeling van deze dieren negatief beïnvloed wordt. Kortom, alleen plaggen in droge heide blijkt in veel situaties niet tot effectief herstel van de biodiversiteit te leiden, en aanvullende of nieuwe maatregelen zijn dan noodzakelijk.

Herstel na verzuring

Doel hierbij is om de negatieve effecten van bodemverzuring terug te draaien door de buffercapaciteit en de kationenconcentraties te verhogen, de Al^{3+} (en veelal ook NH_4^+) concentraties weer te verlagen en, indien nodig, om de N-beschikbaarheid te beperken. Hiervoor staan in principe twee groepen van maatregelen ter beschikking. Enerzijds een directe gift van bufferstoffen ('bekalking' met kalk, dolokalk of een ander steenmeel) in droge habitats, anderzijds herstel van de toestroming of invloed van (grond)water met meer bufferstoffen (bicarbonaat en basische kationen) in natte systemen.

BEKALKING VAN DROGE HABITATS

Veel, voorheen matig gebufferde (pH 4,5 – 6,8) droge ecosystemen zijn in Nederland in de laatste 4-5 decennia sterk verzuurd, en voor een groot gedeelte in de aluminiumbufferrange terecht gekomen. In droge heischrale graslanden is gebleken dat kleinschalig ondiep plaggen met daarnaast een lichte bekalking (bijvoorbeeld dolokalk, 2 ton/ha) tot een duurzaam herstel van de bodem heeft geleid, die 10-12 jaar na uitvoering nog steeds goed meetbaar was (Bobbink et al., 2004; de Graaf et al., 2004). Ook ruim 20 jaar na uitvoering zijn, met goed vervolgbegheer, de behandelingen nog steeds effectief gebleken, zoals uit recente veldbezoeken is gebleken (foto 3). Echter,



wanneer de doelsoorten uit het gebied zijn verdwenen en restpopulaties in de directe omgeving ontbreken, is het herstel van de plantendiversiteit onvolledig en blijven veel kenmerkende soorten afwezig. Dit komt doordat veel plantensoorten uit droge milieus geen langlevende zaadvoorraad hebben, en dispersie zeer moeizaam is doordat bijna alle natuurgebieden in Nederland geïsoleerd zijn in het landschap. Voor herstel van de plantendiversiteit in verzuurde droge graslanden kan dan ook toevoer van diasporen via vers maaisel of zelfs via directe herintroductie een

noodzakelijke, aanvullende maatregel zijn (Loeb & Weijters, dit nummer). De tot nu toe besproken herstelmaatregelen zijn toegepast in veelal lage, half-natuurlijke vegetaties, maar niet in ecosystemen waar ingrepen in bijvoorbeeld de accumulatie van N of bij bodemverzuring veel moeilijker uitvoerbaar zijn, zoals in bossen. Toch ligt een groot deel van de Nederlandse bossen op verzuringsgevoelige zandgrond, en ook nog eens in die delen van Nederland waar de N-deposities vaak het hoogst zijn. In de jaren tachtig-negentig van de vorige eeuw zijn wel experimenten gedaan in bossen met bekalking of toevoer van kationen, maar het merendeel van deze relatief korte experimenten was er op gericht de boomgroei of -vitaliteit te herstellen in naaldhoutbossen (veelal plantages). Een aantal van deze proefvlakken in dennenbossen is nu nog traceerbaar, en zou gebruikt kunnen worden om op statistisch verantwoorde wijze de lange-termijn effecten van bekalking te achterhalen (van Dobben, 2010). Dat matige bekalking, zonder plaggen, van meer natuurlijk loofbos een positief effect op de diversiteit kan hebben, moge blijken uit het onderzoek uitgevoerd in een gematigd loofbos (pH 4,1) in het noordoosten van de VS (Pabian et al., 2012). In dit grootschalige experiment, met proefvelden van 100 ha, is gevonden dat bekalking de pH en de hoeveelheid basische kationen in de bodem significant doet toenemen. Er trad wel enige verandering in de ondergroei op,



Foto 3. Beeld van een hersteld droog heischraal grasland in de Schaopedobbe (Fr) in 2011, waar ruim 20 jaar daarvoor ondiep geplagd en bekalkt is (foto: R. Bobbink).

maar er werd geen verzuuring waargenomen. Verder is ook gevonden dat de bodemfauna positief werd beïnvloed; vooral de aantallen slakken stegen sterk. Dit heeft na 5-6 jaar geleid tot een duidelijke toename van de dichtheid aan zangvogels in de bekalkte bospercelen (fig. 2). Dit experiment is een aanwijzing dat herstel van verzuurde bodem ook in bossen positief kan uitpakken voor de diversiteit. De vraag is of dit alles zo vertaalbaar is naar de Nederlandse situatie, met zijn veelal al jarenlang hoge N-depositie. Het is echter het overwegen waard de hoopgevende maatregel ook op praktijkschaal in aangetast Nederlands bos te gaan uittesten, mogelijk al of niet gecombineerd met afvoer van organisch materiaal (strooisel).

VERHOOGING VAN BUFFERCAPACITEIT

VIA HYDROLOGIE

Deze herstelstrategie is afhankelijk van de landschappelijke situatie en het te herstellen systeem: gaat het bijvoorbeeld om door oppervlaktewater of door grondwater beïnvloede standplaatsen? Methoden zijn bijv. het verhogen van de invloed van gebufferd grondwater door herstel van kwel tot in de wortelzone, overstrooming met gebufferd, schoon oppervlaktewater of bekalking van het inziggebied. Deze laatste maatregel, veelal uitgevoerd met pluggen van de oeverzone en baggeren, is effectief gebleken voor het herstel van zeer zwakgebufferde vennen en de omliggende natte heide zone (Dorland et al., 2005). Bekalking van het inziggebied is met name succesvol in situaties waar het lokale grondwater verzuurd is en daardoor geen basische kationen meer aanvoert, en waar andere hydrologische ingrepen onmogelijk zijn.

Ook het verhogen van de kwelinvloed in de wortelzone met meer gebufferd water is een goede maatregel gebleken om de abiotiek van vochtige en natte graslanden te herstellen, waarbij ook de vegetatiesamenstelling redelijk op orde komt, met name wanneer in de directe omgeving nog intacte vegetaties aanwezig zijn (o.a. Bobbink et al., 2004; Jansen et al., 2007). Deze hydrologische maatregel is trouwens bijna altijd gecombineerd uitgevoerd met pluggen van de aangetaste vegetatie. Een goed voorbeeld is het uitgevoerde herstel van het Verbrande Bos in Staverden. Hier is in de winter van 1989-1990 de aangetaste vegetatie, voornamelijk Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) en opslag van dennetjes, geplagd en de hydrologie hersteld, zodat weer zwak gebufferd grondwater in de wortelzone terecht zou komen. Na uitvoering is gebleken dat de bodem-pH en ook de

Fig. 2. Voorkomen van vier soorten zangvogels in gematigd loofbos in het noordoosten van de Verenigde Staten waar proefvelden (n= 4; 100 ha) al of niet (controle) bekalkt zijn met 4,5 ton per ha. Duidelijk is te zien dat drie van de vier gevolgde zangvogels significant toenemen in de bekalkte situaties (naar Pabian et al., 2012).

□ controle
● bekalkt
--- lineair controle
— lineair bekalkt

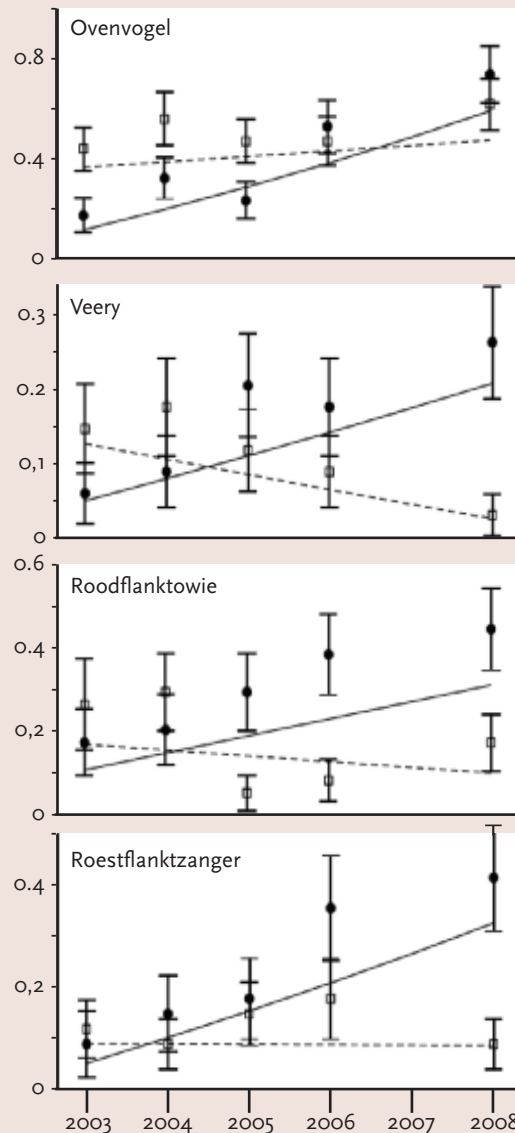
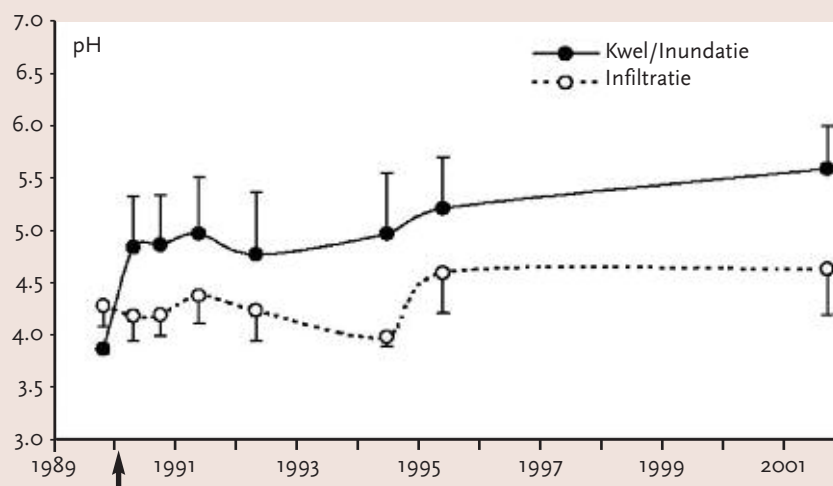


Fig. 3. Verloop van de bodem-pH na uitvoering van de hydrologische maatregelen en pluggen in het Verbrande Bos bij Staverden (Bobbink et al., 2004). De pijl geeft het tijdstip (winter '89-'90) van uitvoering aan.



hoeveelheid uitwisselbare kationen door de combinatie van maatregelen duurzaam is hersteld: 12 jaar na uitvoering waren deze nog steeds duidelijk verhoogd in de zones die onder invloed van het (grond)water stonden (fig. 3), terwijl de nutriëntenconcentraties zeer laag bleven in de bodem. Door de beherende instantie, het Geldersch Landschap en Kastelen wordt dit terrein nu als één van de fraaiste natte heischrale graslanden van Nederland

beschouwd, met zeker 15-20 plantensoorten van de Rode Lijst, en ook rijk aan fauna. Zo is in 2011, ruim 20 jaar na uitvoering, door De Vlinderstichting in dit terrein ook de aanwezigheid van Gentiaanblauwtje (*Phengaris alcon*) vastgesteld! Bij dit alles moet worden opgemerkt dat dit herstel mede zo positief is verlopen, omdat in het aangrenzende terrein (De Leemputten) nog veel doelsoorten aanwezig waren.

Slotopmerkingen

Het moge duidelijk zijn geworden dat door de decennialange hoge N- en voorheen S-depositie de abiotiek van veel natuurterreinen ernstig is aangetast. Adequaet en relatief herstel van de geïdentificeerde biogeochemische knelpunten is mogelijk, vooral in niet-bos ecosystemen. Gecombineerde maatregelen zijn het meest efficiënt, omdat zij bijvoorbeeld zowel de N-accumulatie als de verzuurde bodemtoestand aanpakken. Voor meer volledig herstel van de diversiteit zijn aanvullende biotische maatregelen gewenst om de verdwenen soorten er terug te krijgen binnen middellange (20 jaar) termijn. Herstelbeheer is nog op veel plaatsen in het Nederlandse zandlandschap en de duinen noodzakelijk, omdat daar nog lang niet overal de erfenis van N-depositie uit de laatste 4-5 decennia is weggewerkt. Ook is in een groot aantal regio's van Nederland de N-depositie nog altijd hoog en is in de laatste 10 jaar geen daling ervan meer waargenomen. Dit betekent dat gevoelige ecosystemen als bijvoorbeeld droge, zwakgebufferde graslanden en bossen nog onder druk staan en dat aanvullende brongerichte maatregelen nodig zijn om de N-depositie verder te doen dalen. Tevens is aanvullend onderzoek nodig naar mechanismen om N-verwijdering in natuurgebieden zodanig te stimuleren, dat de N-accumulatie en zijn effecten vanzelf minder worden. Dus, op naar meer diversiteit aan planten en dieren, ook in N-gevoelige systemen!

Literatuur

Bobbink, R. & L.P.M. Lamers, 1999. Effecten van stikstofhoudende luchtverontreiniging op vegetaties - een overzicht. Rapport R13 Technische Commissie Bodembescherming, Den Haag.

Bobbink, R. & J.P. Hettelingh, 2011. Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships: RIVM Rapport nr 680359002.

Bobbink, R., E. Brouwer, J. ten Hoopen & E. Dorland, 2004. Herstelbeheer in het heidelandschap: effectiviteit, knelpunten en duurzaamheid. In: Van Duinen, G.-J., Bobbink, R., Van Dam, C., Esselink, H., Hendriks, H., Klein, M., Kooijman, A., Roelofs, J. & Siebel, H., Duurzaam natuurherstel voor behoud biodiversiteit. 15 jaar herstelmaatregelen in het kader van het overlevingsplan bos en natuur, Expertisecentrum LNV, Ede: 33-70.

Bobbink, R., H.B.M. Tomassen, M.J. Weijters & J.P. Hettelingh, 2010. Revisie en update van kritische N-depositiewaarden voor Europese

natuur. *De Levende Natuur* 111(6): 254-258.

Clark, C.M. & D. Tilman, 2008. Loss of plant species after chronic low-level nitrogen deposition to prairie grassland. *Nature* 451: 712-715.

Dobben, H.F. van, 2010. Lange-termijn effecten van bekalking op bosvegetaties; bruikbaarheid van oude effecten. *Alterra-rapport 2098*, Wageningen.

Dorland, E., L.J.L. van den Berg, E. Brouwer, J.G.M. Roelofs & R. Bobbink, 2005. Catchment liming to restore degraded, acidified heathlands and moorland pools. *Restoration Ecology* 13: 302-311.

Graaf, M. de, P. Verbeek, S.A. Robat, R. Bobbink, J.G.M. Roelofs, S. De Goeij & M. Scherpenisse, 2004. Lange-termijn effecten van herstelbeheer in heide en heischrale graslanden. *OBN-EC/LNV*, Ede.

Haan, B.J. de, J. Kros, R. Bobbink, J.A. van Jaarsveld, W. de Vries & H. Noordijk, 2008. Ammoniak in Nederland. Rapport Planbureau voor de leefomgeving, 500125003, Bilthoven.

Jansen, A.J.M., C.J.S. Aggenbach, A.T.W. Eysink & D. van der Hoek, 2007. Herstel van natte schraallanden op minerale gronden. *De Levende Natuur* 108(3): 96-102.

Ovaskainen, O., 2013. How to develop nature conservation strategies for The Netherlands. *De Levende Natuur* 114 (2): 59-62.

Pabian, S.E., S.M. Rummel, W.E. Sharpe & M.C. Brittingham, 2012. Terrestrial liming as a restoration technique for acidified forest ecosystems. *International Journal of Forest Research* 2012: 1-10.

Stevens, C.J., P. Manning, L.J.L. van den Berg, M.C.C. de Graaf, G.W.W. Wamelink, A.W. Boxman, A. Bleeker, P. Vergeer, M. Arroniz-Crespo, J. Limpens, L.P.M. Lamers, R. Bobbink & E. Dorland, 2011. Ecosystem responses to reduced and oxidised nitrogen inputs in European terrestrial habitats. *Environmental Pollution* 159: 665-676.

Ulrich, B., 1991. An ecosystem approach to soil acidification. In: *Soil acidity* (eds B. Ulrich & M.E. Summer). Springer Verlag, Berlin: 28-79.

Vogels, J., A. van den Burg, E. Remke & H. Siepel, 2011. Effectgerichte maatregelen voor het herstel en beheer van faunageïnschappen van heideterreinen - Evaluatie en ontwerp van bestaande en nieuwe herstelmaatregelen (2006-2010). *DKI-EL&I*, Den Haag.

Summary
The impacts of increased atmospheric N deposition: are restoration measures still necessary?
 Atmospheric nitrogen deposition, from both oxidised (NO_y) and reduced (NH_x) compounds, is nowadays one of the main threats for biodiversity in European (semi-) natural

ecosystems of high conservational value. Long-term nitrogen input from the atmosphere may cause eutrophication, soil acidification and/or ammonium toxicity. The severity of these impacts depends on the biogeochemistry of the particular ecosystem, but is especially severe under oligo- to mesotrophic, weakly buffered soil conditions. Long-term field trials have been set up in deteriorated ecosystems such as grassland and heathland sites since the early 1990s to counteract the severe impacts of N pollutants. The first aim was to restore former soil conditions, as we feel that rehabilitation of ecosystems should start with recreating appropriate abiotic conditions. Removal of the vegetation and top soil ('sod cutting'), liming, hydrological measures or a combination of them were used depending on the actual biogeochemical constraints after the degradation. The effectiveness was mostly evaluated by following the soil chemistry and plant composition. In this paper an overview of the experimental restoration measures and the main factors of success or failure have been presented. In most cases a combination of measures proved to be successful in restoring appropriate soil conditions and a low productive sward. A full recovery of plant diversity was, however, seriously limited when the characteristic species had already disappeared, especially in dry conditions or when it was impossible to increase the soil buffer capacity after acidification. Additional measures to counteract the dispersal limitation of many endangered species may be needed. Finally, it is concluded that a decrease in atmospheric N deposition is still needed in several areas of the Netherlands to protect sensitive ecosystems.

Dr. R. Bobbink, Dr. H.B.M. Tomassen,
 Drs. M.J. Weijters
 Onderzoekcentrum B-WARE
 Postbus 6558, 6503 GB Nijmegen

r.bobbink@b-ware.eu
 h.tomassen@b-ware.eu
 m.weijters@b-ware.eu

Dr. L.J.L. van den Berg
 Radboud Universiteit Nijmegen, Institute for Water and Wetland Research,
 Afdeling Aquatische Ecologie en Milieubiologie,
 Heyendaalseweg 135
 6525 AJ Nijmegen
 &
 Onderzoekcentrum B-WARE
 Postbus 6558
 6503 GB Nijmegen
 l.vandenberg@science.ru.nl