

Effecten van N-depositie op de biodiversiteit van natuurterreinen

Stikstofdepositie: sluipmoordenaar voor natuur

De depositie van reactief stikstof uit de lucht is weer voorpagina-nieuws. Het debat wordt beheerst door emissies en deposities, waarbij elke mol telt. Maar in de stikstofproblematiek draait het met name om de ernstige gevolgen op de biodiversiteit. De gevolgen van deze sluipmoordenaar op de natuur zijn echter complex en vaak pas na decennia zichtbaar.

Door: Roland Bobbink

Over de auteur:

dr. Roland Bobbink is senior-onderzoeker en oud-directeur van Onderzoekcentrum B-WARE in Nijmegen, ✉ r.bobbink@b-ware.eu

Stikstofverbindingen, zowel ammonium als nitraat, zijn belangrijke voedingsstoffen (nutriënten) voor plantengroei. De depositie van gereduceerd stikstof (ammoniak en ammonium) en geoxideerd stikstof (stikstofoxiden en nitraat) is al sterk verhoogd sinds 1980, en ondanks een afname van 30-40 procent tussen 1993 en 2004, daarna niet meer verlaagd en in de laatste jaren lijkt zelfs weer een lichte stijging op te treden.¹ De gevolgen van deze langdurig verhoogde stikstofdepositie zijn veelzijdig, met vele interacties, en kunnen optreden op zeer verschillende tijdschalen, waarbij veranderingen in de bodem doorslaggevend zijn voor de waargenomen veranderingen. De belangrijkste effectketens^{2,3} die achtereenvolgens in dit artikel worden besproken, zijn:

1. directe toxiciteit van gassen;
2. vermessing (N-eutrofiëring);
3. verzuring;
4. negatieve effecten van ammonium;
5. verhoogde gevoeligheid voor infecties en plagen.

De complexe doorwerking op de fauna hoger in het voedselweb wordt beperkt besproken, zie hiervoor het recent verschenen overzichtsartikel.⁴ Doel van het onderhavige verhaal is om inzicht te geven op welke sluipende wijze veranderingen in de bodem door langdurige verhoogde stikstofdepositie de biodiversiteit van de Nederlandse natuur sterk negatief beïnvloedt.

DIRECTE TOXICITEIT VAN GASSEN

Bij hoge concentraties luchtverontreiniging kunnen gassen directe toxische effecten hebben op planten. Ammoniak of stikstofoxide kunnen via de huidmondjes of via de cuticula in de bladeren komen. Dit kan leiden tot ontregeling van de fysiologie van deze bladeren. Ook kunnen de gassen de beschermende waslaag

van bladeren of naalden aantasten. De concentraties van ammoniak en stikstofdioxide zijn echter in Nederland tegenwoordig dermate laag dat dit effect nauwelijks meer voorkomt, en dit mechanisme zal daarom hier niet verder behandeld worden. Een uitzondering is de directe schade die een aantal korstmossen ondervindt van ammoniak⁵, waardoor de soortenrijkdom van deze groep in bos, heide, stuifzand en zelfs kalkgrasland drastisch is verminderd.

VERMESTING (N-EUTROFIËRING)

Een toename van de atmosferische stikstofdepositie in een voorheen onbelast situatie leidt in eerste instantie tot een toename van stikstof in de bodem en zo tot een verhoogde opname van ammonium en nitraat door de vegetatie (N-eutrofiëring). Op

Zeldzame soorten worden
zeldzamer, algemene
soorten algemener

termijn zal de toename in stikstofbeschikbaarheid leiden tot verschuivingen in de concurrentie tussen plantensoorten. Stikstofminnende, snelgroeiende plantensoorten verdringen zo geleidelijk de minder concurrentiekrachtige soorten en zullen de vegetatie uiteindelijk gaan domineren. Voorbeelden hiervan zijn bochtige smele, pijpenstrootje, gevinde kortsteel, duinriet, helm, bramen en gewone vlier. Veelal gaat dit ten koste van karakteristieke soorten, aangezien een groot deel van de soorten in (half) natuurlijke ecosystemen juist is aangepast aan een lage stikstofbeschikbaarheid in de bodem. Kortom, zeldzame soorten worden steeds zeldzamer, en algemene soorten juist algemener. Tevens wordt de vegetatiestructuur steeds homogener (“homogenisatie”). Dit alles betekent dat langdurig verhoogde stikstofdeposi-



FIGUUR 1. BEELD VAN ZUID-LIMBURGSE KALKGRASLANDVEGETATIE NA VIER JAAR BEREKENING MET STIKSTOF (RECHTS), EN VAN DE VEGETATIE BEHANDELD MET SCHOON REGENWATER (FOTO: R. BOBBINK, 1986).

tie vooral in voorheen voedselarme tot matig voedselrijke systemen een sterke afname in soortendiversiteit kan veroorzaken (Figuur 1).⁶

Daarnaast veroorzaakt te veel stikstof ook een achteruitgang van paddenstoelen (ectomycorrhiza-soorten). In Nederland zijn dit vooral bospaddenstoelen die in symbiose leven met de wortels van bomen. Deze ectomycorrhiza's zijn onder meer van groot belang voor de nutriëntenopname van bomen. Veel soorten uit deze groep zijn zeldzamer geworden of soms vrijwel uit onze bossen verdwenen. Ook de bezetting van boomwortels met ectomycorrhiza vermindert door toegenomen stikstoftoevoer, met nadelige gevolgen voor de vitaliteit van de bomen zelf.

VERSTOORDE STIKSTOFCYCLUS EN NITRAATUITSPOELING

Naast veranderingen in de biodiversiteit neemt ook de snelheid van de stikstofcyclus in het systeem geleidelijk toe door N-eutrofiëring. De biomassaproductie van de vegetatie is hoger, met meer strooiselproductie, en vaak hogere stikstofconcentraties daarin. Dit verhoogt in eerste instantie de afbraaksnelheid van het organisch materiaal en mineralisatie van stikstofverbindingen. Tegelijkertijd neemt in veel systemen de immobilisatie van ammonium en nitraat door micro-organismen af, waardoor uiteindelijk de overmaat aan stikstof sneller beschikbaar komt voor de vegetatie. De veranderingen in de vegetatiesamenstelling kunnen op zich ook weer leiden tot extra versnelling van de stikstofcyclus, bijvoorbeeld doordat het strooisel van de nu dominant geworden soorten gemakkelijker afbreekt.⁷

Bij een voortdurend hoge stikstofdepositie zal op een gegeven moment de plantengroei niet meer beperkt worden door stikstof maar door een ander element (fosfor, kalium of magnesium).

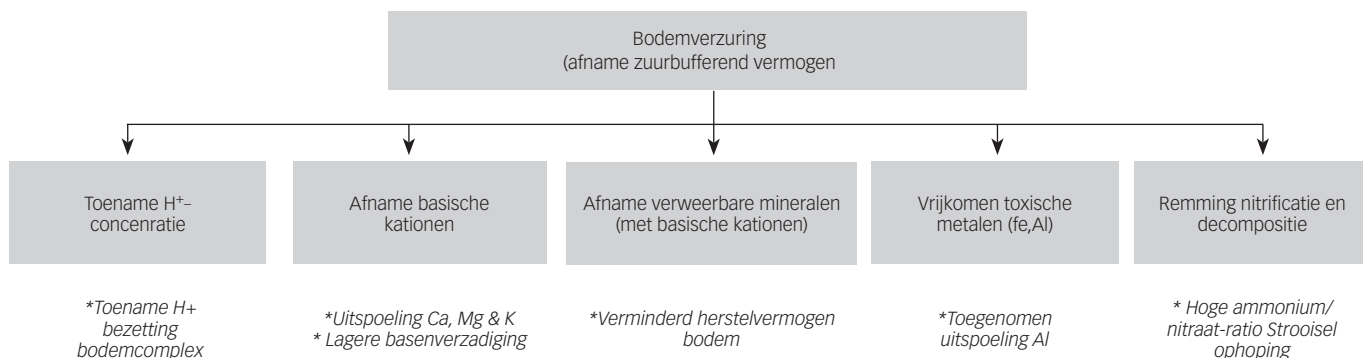
Dan treedt geen extra groei meer op door extra stikstoftoevoer, al wordt nog wel een deel van de extra stikstof opgenomen. Dit laatste leidt tot nog hogere stikstofconcentraties in de vegetatie, met gevolgen voor de hoeveelheid stikstof in het strooisel en voor de stikstofmineralisatie van stikstof. Hierdoor daalt de C/N-ratio van de toplaag van de bodem geleidelijk. Door de aanhoudende accumulatie van stikstof, de toegenomen snelheid van de stikstofcyclus en de verzadiging van het ecosysteem met stikstof

De nivellering van de Nederlandse zandgronden is in hoge mate aan deze milieustress toe te schrijven

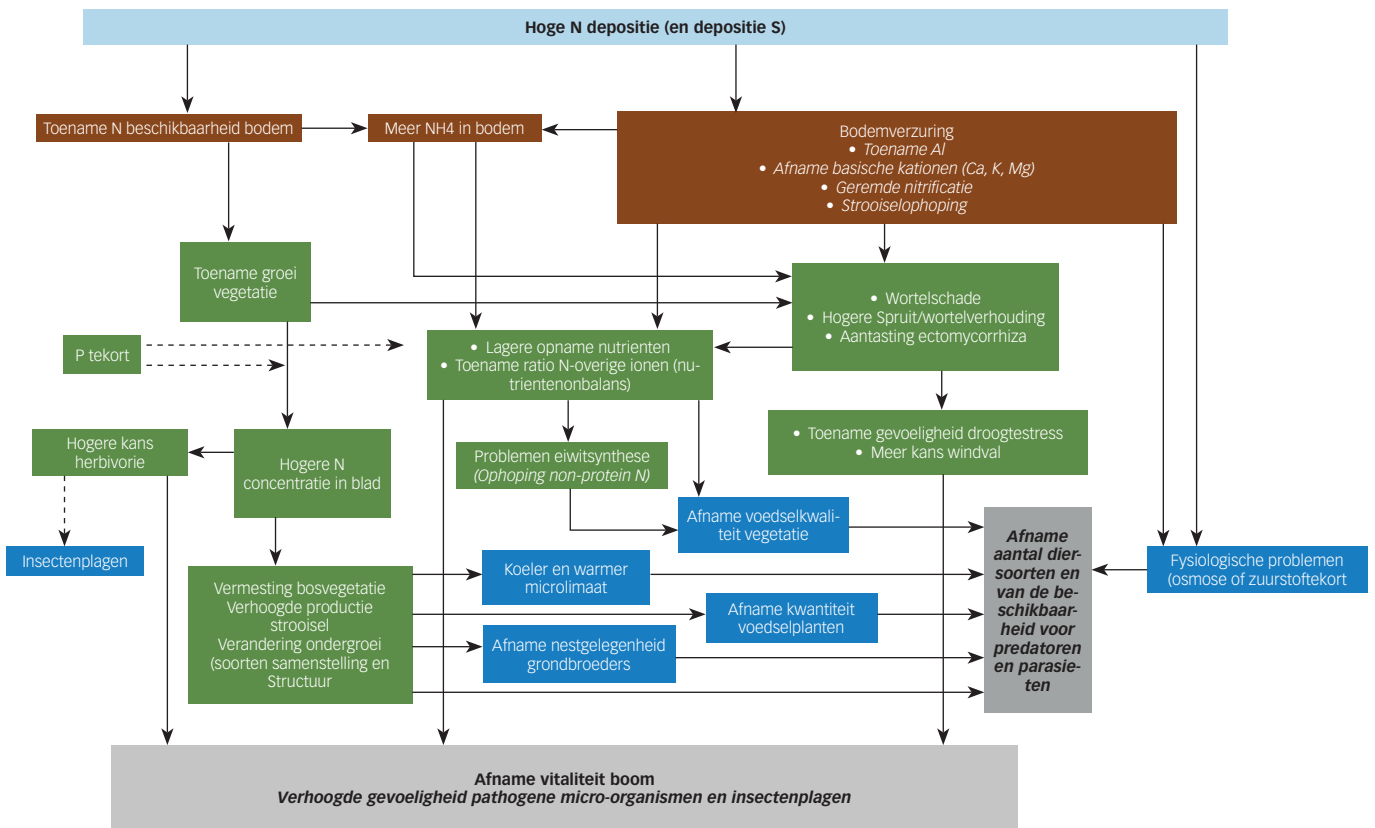
wordt het risico op uitspoelen van anorganisch stikstof naar het (ondiepe) grondwater steeds groter. Stikstof spoelt bijna altijd uit in de vorm van nitraat, aangezien ammonium in de bodem nauwelijks mobiel is en maar zeer beperkt naar het grondwater verdwijnt. Dit is met name het geval in bossen en in de droge duinen en men noemt een dergelijke systeem verzadigd met stikstof. De overmaat aan stikstof in de vegetatie kan ook grote gevolgen hebben voor plantenetende ongewervelde dieren en daarmee voor de doorwerking in het voedselweb.⁴

VERZURING

Bodemverzuring is bij uitstek een langetermijnproces, dat in hoge mate versneld kan worden door depositie van (voorheen) zwavel- en stikstofverbindingen. Hierbij vinden allerlei omzettingen in de



FIGUUR 2. SCHEMATISCH OVERZICHT VAN DE COMPLEXE GEVOLGEN DIE OPTREDEN BIJ VERSNELDE VERZURING VAN DE BODEM IN NATUURTERREINEN.⁸



FIGUUR 3. OVERZICHT VAN DE EFFECTEN VAN LANGDURIG VERHOOGDE STIKSTOFDEPOSITIE IN EEN LOOFBOS OP VOORHEEN VOEDSELARME, MATIG GEBUFFERDE ZANDGROND. HIERBIJ ZIJN ZOWEL DE VERANDERINGEN IN DE BODEM (BRUIN), OP DE VEGETATIE (GROEN) EN DE FAUNA (BLAUW) AANGEGEVEN.

bodem plaats, waarbij naast afname van de buffercapaciteit ook basische kationen (calcium, kalium en magnesium) vrij in oplossing kunnen komen. Omdat in Nederland de jaarlijkse neerslag groter is dan de verdamping treedt er gemiddeld over het jaar een neerwaarts transport van water op. Met die waterstroom zullen deze kationen uitspoelen naar diepere lagen of naar het grondwater. Versnelde bodemverzuring kan de aard van een ecosysteem en daarmee de biodiversiteit ernstig aantasten: de pH kan flink dalen, tekorten aan basische kationen kunnen ontstaan, verweerbare silicaatmineralen met basische kationen raken uitgeput en toxische metalen, vooral Al^{3+} , komen vrij. Tevens kan door daling van de pH ($< 4,5$) de nitrificatie steeds meer geremd raken, waardoor ammonium de dominante vorm van stikstof in de bodem wordt (zie later). Tenslotte kan ook de afbraaksnelheid van organische materiaal (decompositie) sterk verminderen waardoor strooiselophoping in verzuurde ecosystemen zeer algemeen is. Een overzicht van het complex aan veranderingen in de bodem bij verzuring is gegeven in figuur 2.⁸ Omdat veel organismen de combinatie van lage beschikbaarheid van basische kationen en hoge concentraties van zowel vrij aluminium als beschikbaar ammonium niet verdragen, leidt versnelde bodemverzuring bijna altijd tot een verlies aan planten- en diersoorten.

NEGatieve EFFECTEN VAN GEREDUCEERD N

Nitraat en ammonium zijn de anorganische vormen van stikstof die in de bodem voorkomen en die door planten als stikstofbron worden gebruikt. In (half)natuurlijke ecosystemen komt een brede range van verhoudingen tussen nitraat en ammonium voor: nitraat is de dominante stikstofvorm in goed tot matig gebufferde situaties ($pH > 5,0$), terwijl ammonium van nature sterk dominant is onder zure omstandigheden ($pH < 4,5$). Als plantensoorten van groeiplaatsen waar oorspronkelijk vrijwel geen ammonium als stikstofbron aanwezig is, worden blootgesteld aan verhoogde ammoniumconcentraties, dan wordt hun fysiologie en groei negatief beïnvloed.⁹

In matig en sterker gebufferde situaties zijn de meeste plantensoorten aangewezen op nitraatvoeding, en worden door de hoge nitrificatiesnelheid in de bodem trouwens nauwelijks blootgesteld aan ammonium, zelfs niet in gebieden met een groot aandeel van gereduceerd stikstof in de depositie. Wel zal hiermee de zuurbufferingscapaciteit verminderen omdat bij de omzetting naar nitraat zuur vrijkomt. Uiteraard geldt dit niet voor mossen en korstmossen die hun stikstof niet opnemen uit de bodem, maar direct uit de atmosfeer of het regenwater. In van oorsprong al zure systemen, zoals hoogvenen, heiden en sommige bossen ($pH \leq 4,5$) was ammonium altijd al de enige bron van anorganisch stikstof, waardoor de kenmerkende plantensoorten aangepast waren aan ammoniumvoeding. Dit alles heeft als conse-

Spontaan herstel van door stikstofdepositie veroorzaakte bodemaantasting treedt nauwelijks of heel geleidelijk op

quentie dat de effecten van veel ammonium in deze systemen niet anders is dan die van veel geoxideerd stikstof. De negatieve effecten van gereduceerd stikstof zijn vooral van belang in die situaties waar oorspronkelijk veel plantensoorten groeiden die aangepast waren aan nitraat als dominante stikstofvorm, en dus niet aan ammoniumvoeding: deze soorten worden sterk negatief beïnvloed door ammonium als stikstofbron. Dit is het geval in matig tot zwak gebufferde bodems ($pH 4,5 - 6,5$), die ook nog eens relatief snel verzuren waardoor de nitrificatie geremd wordt.



FOTO 4: VERGRASSING VAN DE HEIDE DOOR PIJPENSTROOTJE IS EEN BEKEND VERSCHIJSSEL BIJ VERHOOGDE STIKSTOFDEPOSITIE.

De ernstigste gevolgen van meer ammonium in de plantenvoeding op de diversiteit zijn daarom vooral gevonden in voorheen zwak tot matig gebufferde omstandigheden, zoals oorspronkelijk bijvoorbeeld aanwezig in heischrale graslanden, (zeer) zwakgebufferde vennen, voorheen soortenrijke heiden en bossen op wat leemhoudende bodem.¹⁰

GEVOELIGHEID VOOR MICROBIËLE INFECTIES EN PLAGEN

Door verhoogde atmosferische depositie van stikstofverbindingen kan de gevoeligheid van plantensoorten voor aantasting door pathogene organismen sterk beïnvloed worden. Luchtverontreiniging kan de vitaliteit van soorten zoals bomen verminderen, waardoor deze gevoeliger worden voor aantasting door schimmels, bacteriën, virussen of insecten. Ook de, vaak zeer sterke verhoging van het stikstofgehalte in de bladeren of wortels kan verhoogde aantasting door herbivore insecten veroorzaken. Gekende voorbeelden zijn hiervan de aantasting van struikheide door het heidehaantje (of heidekever) en van eiken door rupsen van de wintervlinder in het voorjaar. Mogelijk zou de soms massale explosie van de eikenprocessierups, naast klimaatfactoren, door de overmaat aan stikstof in de bladeren van de eiken in Nederland veroorzaakt kunnen worden. Overigens moet gesteld worden dat de causaliteit tussen verhoogde stikstofdepositie en toename van infecties en plagen nog maar voor weinig soorten is vastgesteld.

SYNTHESE

In dit artikel is gepoogd een overzicht te geven van de complexe effecten van verhoogde stikstofdepositie op natuur in Nederland (zie ook figuur 3). Veel (half-)natuurlijke ecosystemen met hoge diversiteit of met veel kenmerkende soorten zijn gevoelig tot zeer gevoelig voor atmosferische stikstofdepositie. Vooral de cumulatieve gevolgen van vermessing al of niet in combinatie met verzuring en ammoniumtoxiciteit zijn doorslaggevend voor de afname van biodiversiteit bij decennialange verhoogde stikstofdepositie. Dit betekent dat in natuur op voorheen (matig) voedselarme bodem of op verzuringsgevoelige gronden de effecten op de biodiversiteit het meest ernstig zijn.^{6,10} De invulling van de Nederlandse natuur, vooral in de duinen en in het Pleistoceen zandgebied is in hoge mate aan deze milieustress toe te schrijven. Het laatst genoemde gebied in noord, midden en zuid Nederland is nu ongelukkigerwijs ook het deel van Nederland met de hoog-

ste stikstofdepositie. Het is dan ook hoog tijd om de stikstofdepositie daar nog verder te verminderen. Daarnaast is het essentieel om de door stikstofdepositie veroorzaakte bodemaantasting met effectieve herstelmaatregelen aan te pakken, aangezien spontaan herstel nauwelijks of slechts zeer langzaam optreedt.

REFERENTIES

1. Lolkema, D.E., H. Noordijk, A. P. Stolk et al. 2015. The Measuring Ammonia in Nature (MAN) network in the Netherlands. *Biogeosciences*, 12: 5133–5142.
2. Bobbink, R., K. Hicks, J. Galloway et al. 2010. Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis. *Ecological Applications* 20:30-59.
3. Bobbink, R., D. Bal, H.F. van Dobben, A.J.M. Jansen, M. Nijssen, H. Siepel, J.H.J. Schaminée, N.A.C. Smits & W. de Vries 2014. De effecten van stikstofdepositie op de structuur en het functioneren van ecosystemen. In: *Herstelstrategieën stikstofgevoelige habitats: Ecologische onderbouwing van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS). Deel I: Algemene inleiding op herstelstrategieën: beleid, kennis en maatregelen.* Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Den Haag, pp.41-82.
4. Nijssen, M.E., M.F. WallisdeVries & H. Siepel 2017. Pathways for effects of increased nitrogen deposition on fauna. *Biological Conservation* 212: 423-431.
5. Sutton, M.A., S. Reis, S. & S.M.H. Baker (eds) 2009. *Atmospheric ammonia-Detecting emission changes and environmental impacts.* Springer.
6. Dise, N.B., M. Ashmore, S. Belyazid, et al. 2011. N deposition as a threat to European terrestrial Biodiversity (Chapter 20). In: *The European Nitrogen Assessment* (eds: Sutton M.A., Howard C.M., Erismann J.W., Billen G., Bleeker A., Grennfelt P., van Grinsven H., Grizzetti B.) Cambridge University Press, 463-494.
7. Aerts, R. & R. Bobbink 1999. The impacts of atmospheric nitrogen deposition on vegetation processes in non-forest ecosystems. In: Langan, S.J. (ed.) *The impact of nitrogen deposition on natural and semi-natural ecosystems.* Kluwer, Dordrecht, pp. 85-122.
8. Bobbink, R., H.L.T. Bergsma, J. den Ouden, & M.L. Weijters 2017. Bodemverzuring in droog zandlandschap: na het zuur geen zoet? *Landschap* 34(2): 61-69.
9. Stevens, C.T., P. Manning, L.J.L. van den Berg et al. 2011. Ecosystem responses to reduced and oxidised nitrogen inputs in European terrestrial habitats. *Environmental Pollution* 159: 665-676.
10. Bobbink, R. & M. Weijters 2018. Verschil in effecten op natuur van gereduceerd versus geoxideerd stikstof. *Lucht maart* 2018: 23-27.