

Dalende stikstofdepositie is nog niet afdoende voor herstel van droge heischrale graslanden

Veel ecosystemen worden in hun voortbestaan bedreigd door de verzurende en vermistende effecten van atmosferische stikstof (N)-depositie, zo ook heischrale graslanden. Om de gevoeligheid van ecosystemen weer te geven zijn in Europees verband 'critical loads' (CL) of 'kritische depositiewaarden' (KDW) in het Nederlands, opgesteld. Recent is deze waarde voor droge soortenrijke heischrale graslanden aangescherpt. Middels zowel een historische als correlatieve studie naar de effecten van atmosferische

N-depositie op soortenrijkdom van West-Europese heischrale graslanden laten wij zien dat deze systemen nog gevoeliger zijn voor N-depositie dan eerst werd aangenomen. Een geringe daling van de N-depositie in Nederland, zoals voorspeld voor de komende decennia, is niet afdoende voor spontaan herstel van deze soortenrijke heischrale graslanden, waardoor aanvullende maatregelen noodzakelijk blijven.

Goed ontwikkelde vegetaties van het Natura2000-habitattype Heischrale graslanden worden gekenmerkt door een hoog aantal hogere planten en paddenstoelen (foto 1). Kenmerkende soorten zijn o.a. Borstelgras (*Nardus stricta*), Tandjesgras (*Danthonia decumbens*) en Hondsviooltje (*Viola canina*), maar ook zeldzame soorten, zoals Rozenkransje (*Antennaria dioica*), Valkruid (*Arnica montana*), Klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*) en Liggende vleugeltjesbloem (*Polygala serpyllifolia*) (Janssen & Schaminée, 2003). Heischrale graslanden komen voor op droge en vochtige voedselarme, zwakgebufferde bodems op de hogere zandgronden, in het Zuid-Limburgse heuvelland en in de duinen (Ministerie van EL&I, 2008). In kader 1 worden de ecologische vereisten van dit habitattype nader beschreven. Het habitattype kent zowel hoogland- als laaglandvormen. Voor deze laatste vorm heeft Nederland binnen Europa een zeer grote verplichting ten aanzien van de bescherming, omdat ons land centraal in het verspreidingsgebied ligt met relatief grote oppervlakken (Ministerie van EL&I, 2008).



Foto 1. Heischraal grasland met Valkruid (*Arnica montana*) en Liggend walstro (*Galium saxatile*) (foto: Roland Bobbink).

N-depositie als belangrijkste bedreiging

Met name droge heischrale graslanden zijn zeer gevoelig voor verzuring en vermisting als gevolg van atmosferische depositie van zwavel (S)- en N-verbindingen (Bobbink et al., 2010). Vanwege de geringe buffercapaciteit van droge heischrale graslandbodems is dit type beperkt in staat om toevoer van zuur te compenseren en veel soorten uit droge heischrale milieus zijn zeer gevoelig voor verhoogde

Al^{3+} -concentraties en voor verlaagde Ca^{2+} -concentraties. Processen die bijdragen aan bodemverzuring zoals nitrificatie, waarbij ammonium (NH_4^+) wordt omgezet in nitraat (NO_3^-) en protonen (H^+) vrijkomen, kunnen daarbij sterk bijdragen aan de vergaande achteruitgang van heischrale graslanden.

Wanneer door N-depositie de N-beschikbaarheid in de bodem geleidelijk toeneemt, gaan concurrentiekrachtige (gras)soorten, zoals Bochtige smele (*Deschampsia flexuosa*), Gewoon struisgras (*Agrostis capillaris*) en Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*), hiervan profiteren, wat ook leidt tot achteruitgang van de soortenrijkdom van heischrale graslanden (o.a. Roelofs et al., 1996; Roem et al., 2002).

De Europese CL (kader 2) voor N voor droge heischrale graslanden is recent zelfs aangescherpt van 10-20 naar 10-15 kg N/ha/jr (Bobbink et al., 2010; Bobbink & Hettelingh, 2011). Voor het Natura2000 habitattype Heischrale graslanden wordt in Nederland een gemiddelde KDW (kader 2) van 11,6 kg (of 830 mol) N/ha/jr gehanteerd (van Dobben & van Hinsberg, 2008). Behalve de totale hoeveelheid N-depositie is ook de verhouding in N-vorm (gereduceerd (NH_3) versus geoxideerd (NO_x)) van belang. Met name soorten van zwakgebufferde ecosystemen, zoals heischrale graslanden, zijn gevoelig voor een toename van deze ratio (Stevens et al., 2011a). Ook het onderzoek van De Graaf et al. (2009) liet zien dat in heiden en (heischrale) graslanden op zwakgebufferde bodems bodemverzuring de belangrijkste verklarende factor was voor de achteruitgang van de soortenrijkdom.

Kader 1. Ecologische vereisten habitattype Heischrale graslanden (H6230) [database ecologische vereisten, december 2008]

Zuurgraad: zwak zuur tot matig zuur, pH 4.5-6.5

Voedselrijkdom: zeer voedselarm tot licht voedselrijk

Vochttoestand: droog – nat, gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand 10 - >40 cm – maaiveld

Overstromingstolerantie: niet

Kader 2. Critical loads (CL) of kritische depositiewaarden (KDW)

Dit is de hoeveelheid N die een ecosysteem over langere tijd kan weerstaan zonder dat de structuur of het functioneren van het ecosysteem significant negatief beïnvloed wordt. Hierbij wordt uitgegaan van goed functionerende ecosystemen, dus waar bijvoorbeeld de hydrologie intact is, en met regulier beheer of gebruik.

Ondanks dat de N-emissie en -depositie door strengere (milieu)wetgeving sinds begin jaren 90 van de vorige eeuw aanzienlijk zijn gedaald (N-depositie daalde van 39,1 kg N/ha/jr in 1991 naar 28,1 kg N/ha/jr in 2010, een daling van 28%), was de afgelopen decennia de totale N-depositie veel hoger dan de KDW voor Heischrale graslanden (CBS/PBL, 2011). Verder is al zo'n drie decennia gereduceerd N de overheersende vorm (> 61%) van N-depositie in Nederland (CBS/PBL, 2011). In welke mate dergelijke historische en actuele N-depositie de soortenrijkdom van droge heischrale graslanden beïnvloed(en), hebben wij onderzocht middels een historische analyse van vegetatieopnamen en een correlatieve veldstudie van soortenrijkdom in relatie tot een West-Europese gradiënt in N-depositie. Bovendien is een lange ter-

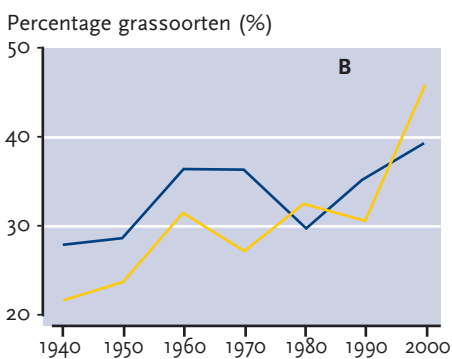
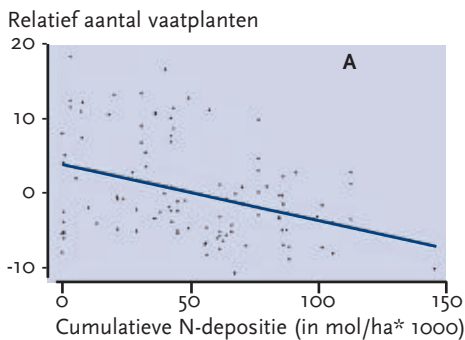


Fig. 1. A) Correlatie tussen het aantal vaatplanten en de geschatte cumulatieve N-depositie in droge heischrale graslanden in Nederland.

Op de y-as staat het relatieve aantal soorten na een correctie voor verschillen in grootte tussen vegetatieopnamen en waarden kunnen daarom negatief zijn.

B) Het gemiddelde percentage grassoorten in de vegetatieopnamen van Nederlandse en Duitse heischrale graslanden sinds 1940 (bewerkt naar Duprè et al., 2010).

— Nederland — Duitsland

België ●
Denemarken ●
Frankrijk ●
Engeland ●
Duitsland ●
Ierland, N.I & I.O.M. ●
Nederland ●
Noorwegen ●
Zweden ●

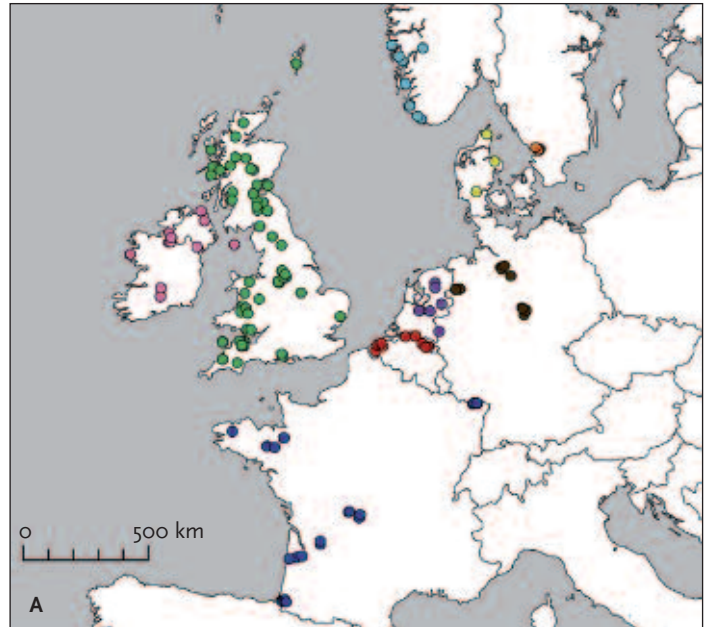


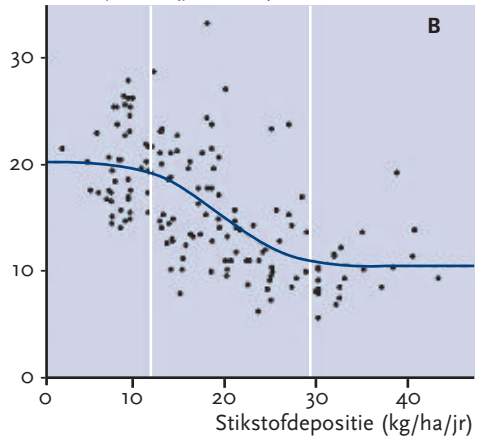
Fig. 2. A) Ligging van de 153 onderzochte heischrale graslanden (Stevens et al., 2010). **B)** Relatie tussen soortenrijkdom (aantal soorten per 4 m²) en N-depositie ($R^2 = 0,39$, $p < 0,001$). Bij een N-depositie van 11,8 en 29,3 kg N/ha/jr (verticale lijnen) werden respectievelijk een significante afname en geen verdere daling van het aantal soorten gevonden (Dorland & van Loon, 2011, bewerking van dataset Stevens et al., 2010). De Europese critical load (CL) voor dit habitattyp is 10-15 kg N/ha/jr (Bobbink & Hettelingh, 2011).

mijn experiment gestart met N-additie in droge heischrale graslanden in drie landen met nog lage atmosferische N-depositie (6-8 kg N/ha/jr) om ook een direct, causaal verband te kunnen leggen tussen verhoogde N-toevoer en de plantendiversiteit. Een dergelijk experiment is tot nu toe nog niet in heischrale graslanden uitgevoerd.

Historische analyse van effecten van N-depositie

Voor onze historische analyse hebben wij een database samengesteld van 1114 bestaande vegetatieopnamen in droge heischrale graslanden (niet-montane Violion caninae gemeenschappen, vooral uit Groot Brittannië, Duitsland en Nederland) die een periode van bijna 70 jaar besloeg (1939-2007; Duprè et al., 2010). Voor elke opname waren ook gegevens beschikbaar over geografie en werden de geaccumuleerde N- en S-depositie geschat. Uit statistische analyse van deze dataset bleek dat de soortenrijkdom het sterkst gecorreleerd was met bodem-pH (hoger aantal soorten bij hogere pH; Ellenberg indicatorwaarden zijn hierbij gebruikt als surrogaat voor bodem-pH). De tweede belangrijke

Soortenrijkdom (per 4 m²)



factor, nu met een duidelijk significant negatieve correlatie met de soortenrijkdom, was geaccumuleerde N-depositie. In alle drie de landen nam met toenemende cumulatieve N-depositie het aantal soorten vaatplanten af (fig. 1a toont de resultaten voor Nederland). Ook kan uit een dergelijke langlopende datareeks worden afgeleid dat vooral grassen profiteren van toegenomen voedselrijkdom. Het aandeel grassen (met name dat van Gewoon struisgras en Rood zwenkgras (*Festuca rubra*)) nam toe ten opzichte van het totaal aantal vaatplanten (fig. 1b).

Correlatie N-depositie en soortenrijkdom

Een ander onderdeel van ons onderzoek betrof een ruimtelijke analyse van 153 bestaande droge, niet-montane heischrale graslanden verspreid over tien landen (fig. 2a, Stevens et al., 2010). De variatie in soortenrijkdom tussen deze heischrale graslanden bleek (middels multi-pele regressie analyse) voor een groot deel te worden verklaard door totale N-depositie, bodem pH, 'radiation index' (met daarin factoren als hellingshoek en oriëntatie) en de nitraatconcentratie in de bodem. Er

bleek geen verband te zijn met de fosfaatbeschikbaarheid in de bodem. Verder kon de relatie tussen soortenrijkdom en N-depositie door een sigmoïde negatief verband worden beschreven (Dorland & van Loon, 2011). Bij lage N-depositie is de soortenrijkdom maximaal en daalt wanneer de N-depositie hoger wordt dan de KWD. Bij hele hoge N-depositiewaarden zal het aantal soorten niet verder dalen, maar min of meer stabiel worden. Een klein aantal soorten zal kunnen profiteren van of resistent zijn tegen de veranderde abiotiek bij hoge N-beschikbaarheid (vermesting en verzuring) en de andere, vooral kenmerkende soorten zullen geleidelijk zijn verdwenen. Wat rest is dan een sterk gedegradeerde vegetatie dat niet meer als Natura2000-habitatype gekwalificeerd kan worden.

In onze dataset bedroeg het gemiddelde aantal hogere planten en mossen bij lage depositiewaarden 20,7 (per proefvlak van 4 m²; fig. 2b). Bij een N-depositiewaarde van 11,8 kg N/ha/jr wordt voor het eerst een significante afname van het aantal soorten waargenomen (hier gedefinieerd als een 5% afname van het aantal soorten ten opzichte van het maximum). Deze waarde komt zeer goed overeen met de al eerder genoemde gemodelleerde KDW voor het Natura2000 habitatype (van Dobben & van Hinsberg, 2008) en de aangescherpte Europese KDW voor dit habitatype. De depositiewaarde waarbij het gemiddelde aantal soorten niet verder afnam (minder dan 5% afwijking van gemiddeld minimum aantal soorten) was 29,3 kg N/ha/ jr. De daling in soortenaantal werd in hoge mate veroorzaakt door een afname van het aantal kruiden (Duprè et al., 2010; Stevens et al., 2011b). Soorten die het sterkst negatief gecorreleerd waren met N-depositie waren o.a. Betonie (*Stachys officinalis*), Vertakte leeuwentand (*Leontodon autumnalis*), Grasklokje (*Campanula rotundifolia*), Gevlekte orchis (*Dactylorhiza maculata*), Liggende vleugeltjesbloem, Hondsviooltje en Valkruid (foto 2). Eerder genoemde grassen, maar ook Veldzuring (*Rumex acetosa*) en algemene mossoorten als Gewoon haakmos (*Rhynchospora alba*) en Groot laddermos (*Pseudoscleropodium purum*) profiteerden juist van de toegenomen N-beschikbaarheid (foto 3).

Wanneer de soortenrijkdom van de onderzochte heischrale graslanden uit de juist



Foto 2. De 'verliezers': enkele plantensoorten die negatief gecorreleerd zijn met verhoogde N-depositie.

- A) Betonie (foto: Roland Bobbink),
- B) Gevlekte orchis (foto: Roland Bobbink),
- C) Valkruid (foto: Edu Dorland).

genoemde studie werd gerelateerd aan de Europese CL voor dit habitatype, bleek het aantal soorten in gebieden waar de N-depositie twee of drie maal de CL bedroeg, significant lager te zijn dan in gebieden met N-depositie op of onder de CL (fig. 3a, $p < 0,001$; Dorland & van Loon, 2011). Dit is een belangrijke constatering, aangezien in 2009 de gemiddelde N-depositie in grote delen van Nederland minstens twee maal hoger was dan de CL (fig. 3b; RIVM/PBL, 2010). Hierbij moet wel de kanttekening gemaakt worden dat dit deels een overschatting is van de N-depositie in heischrale graslanden ter plekke. Deze vegetatie beslaat bijna altijd maar een klein oppervlak en vult dus maar een gering gedeelte van de gridcellen waarvoor de N-depositie wordt berekend. Ook hebben heischrale graslanden een lage vegetatiestructuur waardoor relatief weinig N-depositie wordt ingevangen. Door dit alles is het waarschijnlijk dat de N-depositie ter plekke in heischrale graslanden gemiddeld lager is dan berekend wordt met de landelijke modellen. Depositieberekeningen per vegetatietype zijn nodig om een goede inschatting te kunnen maken van de omvang van een eventuele overschrijding van de CL in dit vegetatietype.

Implicaties voor beheer en herstel van heischrale graslanden

Bovenstaande relatie tussen soortenrijkdom van droge heischrale graslanden en N-depositie heeft ook implicaties voor het natuurbeleid en -beheer. De afgelopen maanden is er in het kader van Natura2000 in alle provincies gewerkt aan de Gebiedsanalyse van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS). Het doel van de PAS is om enerzijds de vergunningverlening voor nieuwe economische activiteiten vlot te trekken en tegelijkertijd de Natura2000-doelstellingen te realiseren. Een belangrijk gegeven hierbij is de voor de komende decennia voorspelde daling van de achtergronddepositie van stikstof. Deze daling is voor herstel van de soortenrijkdom van heischrale graslanden van groot belang. In Nederland is de N-depositie op veel plaatsen namelijk nog steeds hoger dan de KDW voor heischrale graslanden, al is wel een reductie van ca 35% in N-depositie bereikt.

Het is echter niet vanzelfsprekend dat de N- en verzuringsgevoelige soorten vanzelf terugkeren. De negatieve effecten op de soortenrijkdom hebben immers voor het grootste deel al in de afgelopen decennia

plaatsgehad en veel gevoelige plantensoorten zijn inmiddels in aantal en bedekking sterk achteruitgegaan of zelfs lokaal verdwenen.

Aanvullende beheermaatregelen zijn daarom nog steeds nodig om de overmaat aan nutriënten uit het systeem te verwijderen en de buffercapaciteit te herstellen. Dit kan bijvoorbeeld door kleinschalig ondiep te plaggen (waarbij aan de randvoorwaarden die bij deze herstelmaatregel horen, wordt voldaan (zie bijv. www.natuurkennis.nl) en daarnaast licht te bekalken met ca. 2 ton Dolokal per ha. Dit laatste is in het Nederlandse zandlandschap vrijwel altijd noodzakelijk in gedegradeerde droge heischrale graslanden, omdat de bodem ook verzuurd is. Wanneer de doelsoorten uit het gebied verdwenen zijn en restpopulaties in de directe omgeving ontbreken, is het voor het herstel van de soortenrijkdom ook nodig om diasporen aan te voeren via zaden of vers maaisel. Alleen dan kunnen we ook in de toekomst weer van dit prachtige habitattype gaan genieten, zeker in die delen van Nederland waar de daling van de N-depositie voldoende groot is.

Literatuur

Bobbink, R. & J.P. Hettelingh, 2011. Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships : Proceedings of an expert workshop, Noordwijkerhout, 23-25 June 2010. RIVM Rapport nr 680359002.

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.

CBS, PBL, Wageningen UR (2011). Vermestende depositie, 1981-2010 (indicator 0189, versie 10, 29 juli 2011).

www.compendiumvoordeleefomgeving.nl.

CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.

Dobben, H. van & A. van Hinsberg, 2008.

Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en Natura2000 typen. Alterra rapport 1654. Alterra, Wageningen UR.

Dorland, E. & A. van Loon, 2011. Verkenning kwantificering processen ten behoeve van herstelstrategieën Programmatische Aanpak Stikstof. KWR Rapport 2011.008

Duprè, C., C.J. Stevens, T. Ranke, A. Bleeker, C. Pepler-Lisbach, D.J.G. Gowing, N.B. Dise, E. Dorland, R. Bobbink & M. Diekmann, 2010. Changes in species richness and composition in European acidic grasslands over the past 70 years: the contribution of cumulative atmos-



Foto 3. De 'winnaars': plantensoorten die positief gecorreleerd zijn met verhoogde N-depositie. A) Pijpenstrootje als vergrasser (foto: Edu Dorland) en B) Gewoon haakmos (foto: Emiel Brouwer).

Aantal soorten per 4m²

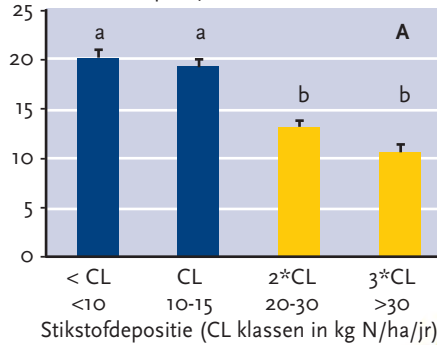


Fig. 3. A) Soortenrijkdom van heischrale graslanden in relatie tot een klasse indeling van de Europese critical load (CL) (10-15 kg N/ha/jr) voor heischrale graslanden.

Legenda:

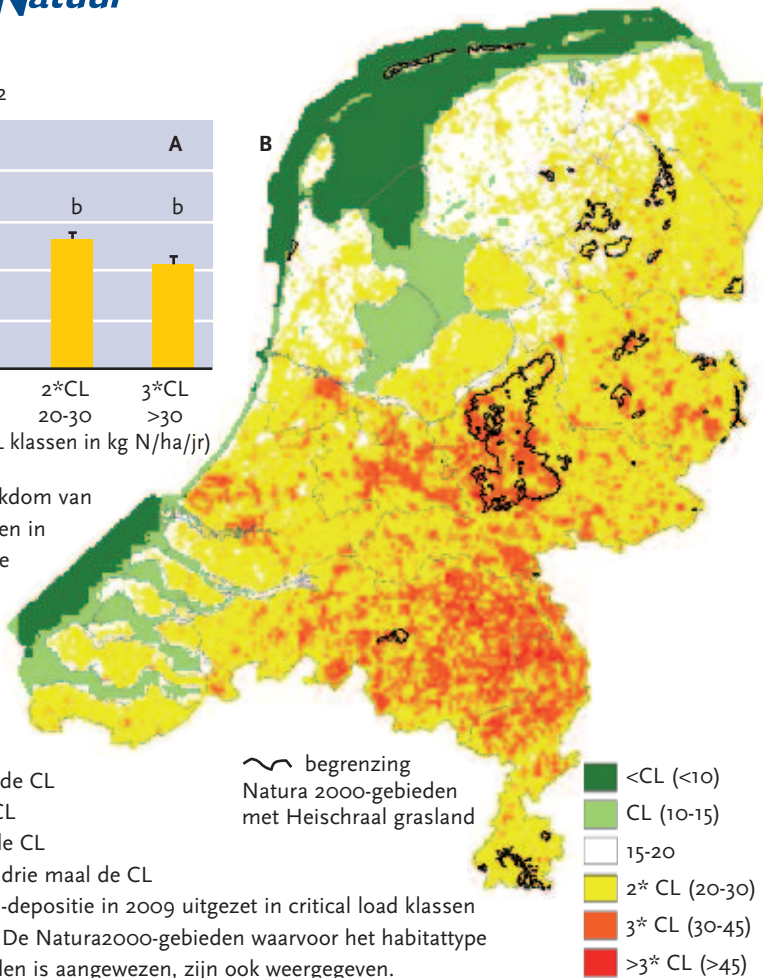
< CL = minder dan de CL

CL = gelijk aan de CL

2*CL = twee maal de CL

> 3*CL = meer dan drie maal de CL

B) Atmosferische N-depositie in 2009 uitgezet in critical load klassen (RIVM/PBL, 2010). De Natura2000-gebieden waarvoor het habitattypen Heischrale graslanden is aangewezen, zijn ook weergegeven.



pheric nitrogen deposition. *Global Change Biology* 16: 344-357.

Graaf, M.C.C. de, R. Bobbink, N.A.C. Smits, R. Van Diggelen & J.G.M. Roelofs, 2009. Biodiversity, vegetation gradients and key biogeochemical processes in the heathland landscape. *Biological Conservation* 142: 2191-2201.

Janssen, J.A.M. & J.H.J. Schaminée, 2003.

Habitattypen. KNNV Uitgeverij, Zeist.

Ministerie van Economische Zaken, Landbouw & Innovatie, 2008. Profielendocument.

RIVM/PBL, 2010. Themasite Grootchalige Concentratiekaarten Nederland. <http://www.rivm.nl/nl/themasites/gcn/index.html>

Roelofs, J.G.M., R. Bobbink, E. Brouwer & M.C.C. de Graaf, 1996. Restoration ecology of aquatic and terrestrial vegetation on non-calcareous sandy soils in the Netherlands. *Acta Botanica Neerlandica* 45 (4): 517-541.

Roem, W.J., H. Klees & F. Berendse, 2002. Effects of nutrient addition and acidification on plant species diversity and seed germination in heathland. *Journal of Applied Ecology* 39 (6): 937-948.

Stevens, C.J., C. Duprè, E. Dorland, C. Gaudnik, D.J.G. Gowing, A. Bleeker, M. Diekmann, D. Alard, R. Bobbink, D. Fowler, E. Corcket, J.O. Mountford, V. Vandvik, P.A. Aarrestad, S. Muller & N.B. Dise, 2010. Nitrogen deposition threatens species richness of grasslands

across Europe. *Environmental Pollution* 158 (9): 2940-2945.

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, 2011a. Ecosystem responses to reduced and oxidised nitrogen inputs in European terrestrial habitats. *Environmental Pollution* 159: 665-676.

Stevens, C.J., C. Duprè, C. Gaudnik, E. Dorland, N.B. Dise, D.J.G. Gowing, A. Bleeker, D. Alard, R. Bobbink, D. Fowler, V. Vandvik, E. Corcket, J.O. Mountford, P.A. Aarrestad, S. Muller & M. Diekmann, 2011b. Changes in species composition of European acid grasslands observed along a gradient of nitrogen deposition. *Journal of Vegetation Science* 22 (2011B): 207-215.

Website: www.natuurkennis.nl

Summary

Decreased nitrogen deposition is not sufficient to restore dry acid grasslands

Species richness of dry acid grasslands (*Violin caninae*) in western Europe is still threatened by atmospheric nitrogen (N) deposition. Analyses of a large set of vegetation relevés, covering a period of almost 70 years, indicated

that species number was most strongly correlated to soil pH (positive relation) and accumulated N-deposition (negative relation). These results were confirmed by our correlative survey of 153 dry acid grasslands in ten countries in which species richness significantly decreased with increasing N-deposition. Our results were in line with the European critical load set for these grasslands. Especially herbs declined in number as a result of increasing N-deposition, whereas the proportion of grass species increased. The recent reduction of N-deposition is not sufficient to restore former species richness of dry acid grasslands, due to accumulation of N in the soil as well as soil acidification. To restore these ecosystems successfully it is therefore necessary to further decrease of N-deposition, to remove excess N and to restore soil pH. When refuge populations of target species are absent from the area, reintroduction of diaspores will be required.

Dankwoord

Het beschreven onderzoek werd uitgevoerd in de periode 2006-2009, binnen het European Science Foundation-BEGIN-project (Biodiversity of European Grasslands the Impact of Atmospheric Nitrogen Deposition). De auteurs bedanken de collega's van het BEGIN-team voor hun werk dat aan dit artikel ten grondslag ligt. Verder worden de European Science Foundation (Eurodiversity-programma) en de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk onderzoek (NWO-ALW project nummer 855.01.104) bedankt voor financiële ondersteuning van dit onderzoek.

Dr. E. Dorland
KWR Watercycle Research Institute
Postbus 1072, 3430 BB Nieuwegein
Edu.Dorland@kwrwater.nl

Dr. R. Bobbink
Onderzoekscentrum B-WARE
Postbus 6558, 6503 GB Nijmegen
R.Bobbink@b-ware.eu

Dr. M.B. Soons
Institute of Environmental Biology
Universiteit Utrecht
Postbus 80.084, 3508 TB Utrecht
m.b.soons@uu.nl

Drs. S.L.F. Rotthier
Leerstoelgroep Natuurbeheer en plantencologie,
Wageningen University & Research centre
Postbus 47, 6700 AA Wageningen
suzanne.rotthier@wur.nl