



2

Landschap

2017
JAARGANG 34

Tijdschrift voor landschapsonderzoek

Themanummer OBN-onderzoek droog zandlandschap

Landbouwtransitie nodig

Voor de natuur van het droog zandlandschap, het thema van dit nummer, is de veehouderij een groot probleem. De emissies van stikstof en ammoniak verzuren en vermesten de bodem. De emissie van ammoniak is de afgelopen decen- nia sterk verminderd, maar de afname stagneert sinds 2010. De stikstofdepositie, overigens niet alleen afkomstig uit de landbouw, is nog steeds te hoog. De mineralenhuishouding van de bodem is uit balans en dat zie je aan de vegetatie en fauna.

Behalve voor natuur en landschap is de landbouw ook een probleem voor zichzelf. Het gaat slecht met veel boeren. Sinds 1980 nam het aantal bedrijven met bijna 60% af, maar de oppervlakte landbouwgrond met minder dan 10%. In alle landbouwsectoren is de afname fors. Nu stoppen veel melkveehouders, omdat ze daar subsidie voor kunnen krijgen in het kader van de vermindering van de veestapel. Sommigen praten al over het einde van de landbouw in Nederland. De landbouw heeft al vele crises doorgemaakt. Rond 1800 was de grond in de Peel en Kempen zo uitgeput dat er geen perspectief meer was voor de landbouw (zie boekbespreking). Toch herleefde de landbouw daar door een combinatie van overheidsbeleid, toenemende vraag en technologische ontwikkeling. Ook latere crises betekenden niet het einde. De Nederlandse boer is een overlever, gesteund door overheid, kennisinstituten en agribusiness. De Nederlandse land- bouw weet zich steeds weer aan te passen, maar wel vaak ten koste van boeren en milieu, hier en elders.

Het zijn boeren zelf die het initiatief nemen om het anders te doen of ze worden daartoe gedwongen door de verande- rende markt en regelgeving. Het gaat al lang slecht met de grutto, maar er zijn boeren die succesvol weidevogelvrien- delijk boeren. De aanpak van verzuring en vermesting kan echter niet zonder regelgeving. Die is er, onder meer in het kader van het PAS (Programma Aanpak Stikstof), maar die is onvoldoende voor de natuur (zie column). Wil de landbouw duurzaam worden dan is een echte transitie nodig. Een aantal boeren is al goed op weg.

In dit themanummer besteden we aandacht aan het onderzoek van het OBN naar de natuur van het droog zandland- schap. Het OBN is het nationale kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit en heeft de ontwikkeling en benutting van praktisch toepasbare kennis over natuurherstel en -beheer tot doel.

Deze uitgave van LANDSCHAP is gefinancierd door het OBN. De redactie bestond uit Henk Siebel, Theo Verstrael en Ido Borkent (respectievelijk voorzitter en leden van het Deskundigenteam Droog zandlandschap), Raoul Beunen, Mark van Veen en Jos Dekker (redactie LANDSCHAP).

LANDSCHAP 2016/2 was ook gewijd aan het werk van OBN. Dat nummer analyseerde de toestand van het nat zandland- schap.

JOS DEKKER, HOOFDREDACTEUR

LANDSCHAP, tijdschrift voor landschapsonderzoek, biedt een platform voor wetenschappelijke publicaties over het landschap in brede zin: ecologisch, beleidsmatig, sociologisch, ontwerpgericht, enzovoort. LANDSCHAP is een uitgave van de Werkgemeenschap voor Landschapsonderzoek (WLO), verschijnt vier maal per jaar en biedt naast wetenschappelijke artikelen ruimte aan discussiebijdragen, reviews, mededelingen, de rubriek Op Pad, Column en boekbesprekingen. Aanwijzingen voor auteurs staan op www.landschap.nl of kunnen worden opgevraagd bij de redactie.

Redactie

Dr. Ir. R. Beunen	Ir. B. Hazeleger (eindredacteur)
Drs. G. De Blust	Dr. R.H.G. Jongman
Dr. J.N.M. Dekker (hoofdredacteur)	Dr. Ir. J.H.A. Meeus
Dr. J.R. Delsman	Dr. Ir. D.T. van der Molen
Dr. J. van Dijk	Dr. M.P. van Veen
Dr. E. Dorland	D. de Vries MSc

E-mail redactie

hoofdredacteur@landschap.nl
barend@agrapen.nl

Administratie

Ferry Devilee
Eline van Bommel
p/a WLO-secretariaat, postbus 805, 3500 AV Utrecht
tel. 030 7115 115
e-mail: wlo@knag.nl
website: www.landschap.nl
IBAN: NL73 INGB 0003 9194 46 (t.n.v. WLO te Utrecht).

Abonnement 2017

- lidmaatschap WLO (incl. Landschap): € 60,-
- idem (voor studenten en uitkeringsgerechtigden): € 40,-
- individueel abonnement: € 50,-
- instituutsabonnement: € 115,-
- WLO (zonder Landschap): € 15,-

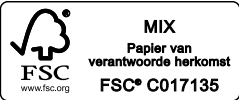
Proefabonnement LANDSCHAP, twee nummers plus de DVD Kerend Tij (zolang de voorraad strekt) € 30,-.
Studenten dienen jaarlijks een kopie van de collegekaart toe te zenden. Leden die in aanmerking komen voor het lidmaatschap voor uitkerings- gerechtigden, dienen dit schriftelijk kenbaar te maken bij het WLO-secretariaat.
Betaling uitsluitend met de toegezonden acceptgirokaart of d.m.v. een machtiging. Het lidmaatschap/abonnement loopt per kalenderjaar; opzeggingen voor 2018 dienen vóór 1 december 2017 binnen te zijn.

Advertenties Tarieven en inlichtingen via de redactie

Basis layout Klaas de Vries, Grafisch ontwerper bNO, Groningen
Opmaak GAW ontwerp + communicatie en Uitgeverij Blauwdruk, Wageningen (Daphne de Bruijn en Harry Harsema)
Foto omslag Mark van Veen
Druk Modern, Bennekom

ISSN 01696300

© 2017 Geheel of gedeeltelijk overnemen van artikelen – met bronvermelding – is alleen toegestaan na toestemming van de redactie.





OBN en het droog zandlandschap

Het onderzoek naar herstelmaatregelen voor natuur in het droog zandlandschap kent een lange geschiedenis. De steeds ingrijpender door de mens veroorzaakte veranderingen in het milieu stellen dit onderzoek echter voor nieuwe, alsmar grotere uitdagingen. In dit nummer van LANDSCHAP wordt het recente OBN-onderzoek naar de natuur van het droog zandlandschap beschreven en een doorkijkje naar de toekomst gegeven.

OBN (Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit) doet veel onderzoek naar natuurherstel in Nederland (Jansen et al., 2016). Een aanzienlijk deel daarvan is uitgevoerd in het droog zandlandschap: zandgronden met fluvio-glaciale zanden en dekzanden van de laatste ijstijd, waar de invloed van grondwater niet van betekenis is. Van nature treedt hier uitspoeling van nutriënten op en deze zanden zijn zeer gevoelig voor verzuring en vermesting. Bij het OBN-deskundigenteam Droog zandlandschap neemt onderzoek naar herstel van verzuring en vermesting als gevolg van depositie van stikstof (N) dan ook een grote plaats in.

In het verleden is door menselijke invloed op deze zandgronden een begrazingslandschap ontstaan dat vooral gekenmerkt werd door lage heidevegetaties, zandverstuivingen en heischrale graslanden met een klein aandeel bos. Op deze woeste gronden ontwikkelden zich habitattypen die het natuurbeheer nu probeert te beschermen: zandverstuivingen (H2330), stuifzandheiden (H2310), binnenlandse kraaiheibegroeiingen (H2320), droge heiden (H4030), jeneverbesstruwen (H5130), heischrale graslanden (H6230), beuken-eikenbossen met hulst (H9120) en oude eikenbossen (H9190). Inmiddels zijn de delen met de rijkste (meest lemige) bodem in veel gevallen al lange tijd ontgonnen als landbouwgrond en deze gronden zijn door een overmatige mestgift, aanwending van bestrijdingsmiddelen en zeer intensief gebruik vrijwel volledig ongeschikt geraakt voor de karakteristieke soorten van het zandlandschap. Andere delen zijn bebost met ontginningsbos-

sen. Het gevolg is dat van de woeste gronden nu veelal alleen de heiden van de armste delen over zijn, als natuurgebied omringd door bos. En deze resterende delen zijn erg gevoelig gebleken voor verzuring en vermesting door N-depositie. Vandaar dat het huidige onderzoek zich vooral hierop richt.

Verzuring en vermesting

Het droog zandlandschap kent van nature een uitspoeling van plantenvoedingsstoffen. De begrazings- en plagcultuur leidde tot een extra vermindering van plantenvoedingsstoffen en daar kwam de zure depositie uit de vorige eeuw nog eens bovenop. Deze heeft het proces van uitspoeling van basische kationen, zoals natrium, kalium, calcium en magnesium, enorm versneld. Uitgedrukt in zuurequivalenten heeft de verzuring door de mens sinds de tweede wereldoorlog die van het natuurlijke proces van de afgelopen 11.000 jaar geëvenaard. En dit cumulatieve proces in de bodem gaat nog steeds door, mede door het verzurende effect van ammoniakdepositie. De uitspoeling van basische kationen is zo ver voortgeschreden dat de voorraad in de bovenste bodemlagen vrijwel is uitgeput en alleen planten als struikheide (*Calluna vulgaris*) en pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) overblijven.

Ammoniakdepositie versterkt ook de vermesting met N in het droog zandlandschap. Tussen 1950 en 1990 is de totale N-depositie in Nederland sterk gestegen. Vanaf 1993 is door allerlei maatregelen een daling (30-40%) ingezet, maar sinds 2003 stagneert die en is de ammo-

droog zandlandschap
Ontwikkeling en Beheer
Natuurkwaliteit
verzuring en vermesting
herstel

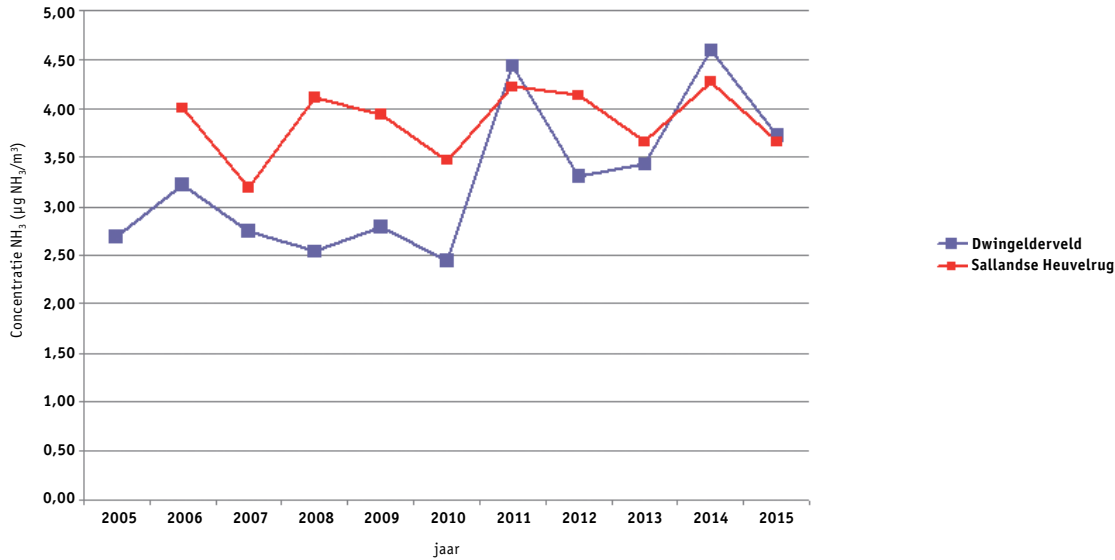
Dr. H.N. (Henk) Siebel
Natuurmonumenten,
Postbus 9955, 1243 ZS
's-Graveland
H.Siebel@
Natuurmonumenten.nl

Dr. R. (Roland) Bobbink
Onderzoekscentrum
B-WARE

Foto **Aat Barendregt** Kootwijkerzand

Figuur 1 recent verloop van de gemeten ammoniakconcentratie ($\mu\text{g NH}_3/\text{m}^3$) in twee heidegebieden in Nederland. Bron: man.rivm.nl.

Figure 1 trends in ammonium concentration ($\mu\text{g NH}_3/\text{m}^3$) in two Dutch heathland areas. Source: man.rivm.nl.



niakdepositie in natuurgebieden constant of zelfs weer stijgend (figuur 1). De N-depositie ligt gemiddeld voor Nederland op 24-27 kg/ha/jaar en de meest voorkomende vorm hiervan in natuurgebieden (> 75%) is gereduceerd N (NH_3 en NH_4^+). Juist in het droog zandlandschap is de N-depositie vanwege de nabijheid van de intensieve landbouw het hoogst (De Haan et al., 2008) en worden kritische depositieniveaus vrijwel overal overschreden. Voor een aantal mos- en korstmossoorten, die hun nutriënten vooral via de lucht krijgen, is dat toxisch. Verder zorgt de hoge N-depositie voor extra snelle groei van concurrentiekrachtige planten, terwijl laag bij de grond groeiende soorten in de verdrukking raken. Dit is terug te zien in vergrassing en verbraming van heide- en bosgebieden. De verstoorde mineralenverhouding werkt door in de voedingssamenstelling van planten en in de voeding van herbivoren die daardoor in onbalans raakt

(Van den Burg & Vogels, dit nummer). De veranderingen in vegetatiesamenstelling en plantchemie leiden tot grote veranderingen in de fauna. Verzuring en vermesting vormen daarmee een groot probleem voor de biodiversiteit. Voor een uitgebreid overzicht van de effecten van N-depositie op natuur, zie Bobbink et al., 2014.

Simpele herstelmaatregelen zijn er niet

Door versnippering van zandverstuivingen, heiden en heischrale graslanden, en alle veranderingen in het milieu die zich in steeds sneller tempo lijken te voltrekken is het niet verwonderlijk dat het met de karakteristieke soorten van het droog zandlandschap nog steeds niet goed gaat, ondanks gebiedsbescherming en natuurbeheer. Veel natuurbeheerders staan te popelen om extra herstelmaatregelen te nemen. In het kader van PAS (Programma Aanpak Stikstof) heeft de overheid al in-

gecalculeerd dat herstelmaatregelen de komende jaren de biodiversiteit in het droog zandlandschap overeind zullen houden. Maar met welke maatregelen dan? En komen de grenzen van wat met herstelmaatregelen kan worden bereikt niet in zicht?

Maatregelen die ingrijpen op de nutriëntenhuishouding kunnen in de voedselarme ecosystemen van het droog zandlandschap al snel ongewenste effecten hebben. Een simpele en veel toegepaste maatregel uit het verleden – het plaggen van de organische toplaag waar veel van de stikstof in geaccumuleerd is – is ongeschikt gebleken als herstelmaatregel op de leemarme droge zandgronden omdat daardoor de al schaarse kationen en fosfaat in het systeem nog verder afnemen. Bosbemestingsproeven, in het verleden toegepast tegen verzuring, hebben laten zien dat langdurige verruiging van de kruidlaag kan optreden bij te hoge giftniveaus. Dat betekent dat het herstel van de biodiversiteit complexer is dan aanvankelijk gedacht en ook zorgvuldig moet worden onderzocht alvorens op grote schaal te worden toegepast. Zie hier de grote uitdaging voor het Deskundigenteam Droog zandlandschap.

Literatuur

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 N-depositie op de structuur en het functioneren van ecosystemen. In: N.A.C. Smits & D. Bal (red.). Herstelstrategieën stikstofgevoelige habitats. Alterra, WUR & Ministerie EZ. Deel 1, hoofdstuk 2: 41-110.

Bobbink, R., H.L.T. Bergsma, J. den Ouden & M.J. Weijters, 2017. Na het zuur geen zoet? Bodemverzuring in droog zandlandschap blijft probleem. Landschap 34/2: 61-69.

Burg, A. van der & J. Vogels, 2017. Zuur voor de fauna. Soorten bos en hei missen essentiële voedingsstoffen. Landschap 34/2: 71-79.

In dit nummer

Er is al veel onderzoek verricht op soort-, ecosysteem- en landschapsniveau. Centrale vraag daarbij is hoe in de huidige Nederlandse situatie weer een gradiëntrijk droog zandlandschap terug te krijgen is waar de kenmerkende soorten duurzaam kunnen overleven. Wat zijn de maatregelen om weer vitale stuifzanden, heischrale graslanden, stuifzanden, heiden en arme bossen te krijgen? In dit themanummer van LANDSCHAP worden vooral de toenemende problemen van verzuring, vermesting en de hieraan gekoppelde onbalans in voedingsmineralen behandeld en de effecten van herstelmaatregelen in dit verband. Hierbij is een synthese gemaakt van verschillende onderzoeken op het niveau van drie grote thema's met elk een apart artikel: bodem en vegetatie (Bobbink et al., dit nummer), gevolgen voor de fauna (Van den Burg & Vogels, dit nummer) en strategische aanpak op landschapsschaal (Siepel et al., dit nummer). Tevens zijn de belangrijkste uitdagingen en onderzoeksvragen opgenomen. Het themanummer besluit met een review van het OBN-onderzoek aan droog zandlandschap die op verzoek van het OBN is uitgevoerd.

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

Jansen, A., M. Schouten, L. van Tweel-Groot & H. Tomassen, 2016. OBN en het nat zandlandschap. Landschap 33/2: 80-81.

Siepel, H., A. Cliquet, C. Vreugdenhil & R.J. Bijlsma, 2017. Wat kunnen we doen, wat moeten we laten? Herstel van het droog zandlandschap. Landschap 34/2: 87-93.



Na het zuur geen zoet?

Bodemverzuring in droog zandlandschap blijvend probleem

Dit artikel vat de huidige stand van de kennis samen over de gevolgen van hoge stikstofdepositie op de bodem van het droog zandlandschap en beschrijft mogelijke of nog te ontwikkelen herstelmaatregelen. Daarvoor worden eerst de processen van bodembuffering en -verzuring beschreven, aangezien begrip daarvan essentieel is om tot duurzaam herstel van kenmerkende biodiversiteit te komen.

In Nederland zijn veel natuurterreinen in het droog zandlandschap aangetast door verzuring en vermes-ting als gevolg van atmosferische depositie van stikstof- (N) en voorheen zwavelverbindingen (S), met negatieve gevolgen voor de biodiversiteit, zie ook Siebel & Bobbink (dit nummer). Bij stijgende toevoer van N via depositie neemt de N-beschikbaarheid en daarmee de groei van planten in de veelal nutriëntenarme systemen zoals heide geleidelijk toe. Ook de soortensamenstelling verandert doordat concurrentiekrachtige planten gaan overheersen ten koste van laag bij de grond groeiende soorten. Vergrassing en verbraming zijn – of deels waren – dan ook schering en inslag in veel heide- en bosgebieden. Ook zijn de bossen op droge zandgronden vaak verzadigd geraakt met stikstof, wat heeft geleid tot verhoogde uitspoeling van nitraat naar het grondwater. Voor een gedetailleerd overzicht van de complexe effec-ten van N-depositie op natuur wordt verder verwezen naar Bobbink et al. (2014). Naast de vermestende effec-ten van N-depositie speelt de voortschrijdende bodem-verzuring een doorslaggevende rol bij de achteruitgang van planten en dieren in het droog zandlandschap.

Bodembuffering en -verzuring

Er is een aantal mechanismen waarmee in bodems de toevoer van verzurende stoffen gebufferd en/of geneu-traliseerd wordt. Deze buffering is afhankelijk van het uitgangsmateriaal (het type bodem) en de aanwezig-heid van toestromend grondwater. In het droog zand-

landschap is het laatste niet van belang, en aangezien de droge binnenlandse zandgronden geen kalk bevatten, zijn de volgende buffermechanismen bepalend voor het verloop van verzuring. Allereerst is dat de kationenuitwisseling door het bo-demadsorptiecomplex. Dit complex bestaat uit kleimi-neralen en/of organische bestanddelen die aan de bui-tenkant negatief geladen zijn, waardoor basische katio-nen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ & Na^+) aan dit complex geadsorbeerd zijn. Wanneer er extra zuur (H^+) in de bodem komt, dan kunnen de H^+ -ionen de kationen van het complex verdringen waardoor ze vervolgens in de bodemoplossing terechtkomen. Omdat de H^+ -ionen dan zelf aan het com-plex geadsorbeerd zijn en niet meer in oplossing, ver-andert de pH niet (=buffering). Kationenuitwisseling is een snellopend bufferproces, maar de capaciteit is tame-lijk beperkt. De term ‘basenverzadiging’ wordt gebruikt om aan te geven hoeveel procent van het adsorptiecom-plex van de bodem bezet is met basische kationen.

Een reactie die op de achtergrond verloopt is de neutrali-satie van zuur door de verwerking van silicaatmineralen. Primaire silicaatmineralen worden afgebroken waarbij zich bij een pH groter dan 4,5 kleimineralen vormen (zie kader). Dit proces wordt sterk versneld door extra toe-voer van zuur. Door de lage verwerkingssnelheid draagt dit mechanisme normaliter maar in geringe mate bij aan de actuele buffering in de bodem, maar het is essentieel voor het “opladen” van het adsorptiecomplex met basi-

Dr. R. (Roland) Bobbink
Onderzoekcentrum
B-WARE, Toernooiveld
1, 6525 ED Nijmegen
r.bobbink@b-ware.eu

Drs. H.L.T. (Huig) Bergsma
BodemBergsma

Dr. Ir. J. (Jan) den Ouden
Wageningen
Universiteit & Research

Drs. M.J. (Maaïke) Weijters
Onderzoekcentrum
B-WARE

Foto Maaïke Weijters
februari 2016, opbren-
gen van steenmeel in
het Mastbos bij Breda in
het kader van het juist
gestarte OBN-onderzoek
naar herstel van droge
loofbossen.

sche kationen en dus voor het herstel van buffercapaciteit via kationuitwisseling.

Onder een pH van 4,5 vindt dit proces van vorming van secundaire kleimineralen (met Al) niet meer plaats maar wordt vrij Al^{3+} gevormd. Net als H^+ kan ook Al^{3+} gebonden worden aan het bodemcomplex, maar dit proces kan de toename in Al^{3+} in de bodemoplossing niet verhinderen. Dit Al^{3+} is toxisch voor veel planten- en diersoorten. Bij zeer lage pH-waarden (<3,0) gaan ijzerverbindingen een dominerende rol spelen bij de bodembuffering en kan er (zeer) veel Fe^{3+} – toxisch voor veel planten – in oplossing komen (Bobbink et al., 2014).

Gevolgen van bodemverzuring

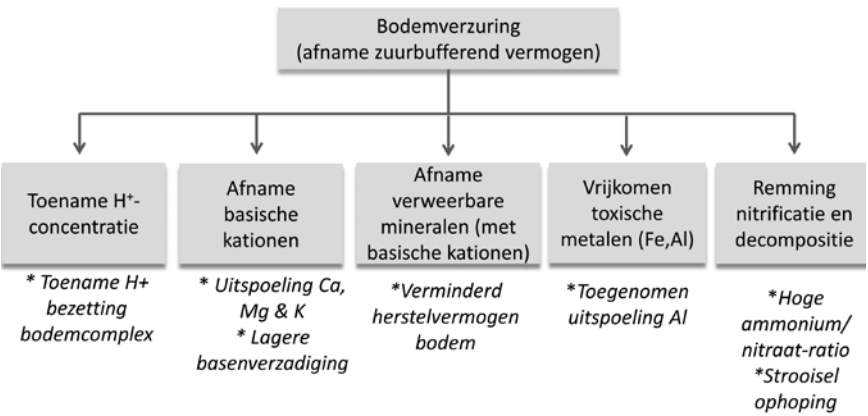
Tijdens bodemverzuring vinden allerlei omzettingen in de bodem plaats, waarbij naast afname van de buffercapaciteit en van de pH ook allerlei kationen vrij in oplos-

sing 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 waardoor deze kationen, en ook mobiele anionen zoals SO_4^{2-} , NO_3^- en/of organische zuurresten, uitspoelen naar diepere lagen of naar het grondwater. Bodemverzuring kan de aard van een ecosysteem en daarmee de biodiversiteit ernstig aantasten: de pH kan flink dalen, tekorten aan basische kationen kunnen ontstaan 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. Omdat veel planten- en diersoorten de combinatie van lage pH en hoge concentraties aan vrij Al^{3+} en NH_4^+ niet verdragen, leidt verzuring bijna altijd tot een verlies van soorten (Bobbink et al., 2014).

Ten slotte kan ook de afbraaksnelheid van organisch

De minerale motor van de bodem

Vrijwel alle kationen in de bodem komen oorspronkelijk vrij door verwerking, een proces waarbij mineralen reageren met zuur. Een voorbeeld hiervan is de verwerking van kaliveldspaat tot het secundaire kleimineraal kaolien, kiezelzuur en kaliumionen:
 $2 \text{KAlSi}_3\text{O}_8 + 9 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 4 \text{H}_4\text{SiO}_4 + 2 \text{K}^+$
Dit is ook het basale proces dat de zuurgraad in de bodem stabiel houdt in wisselwerking met het kationuitwisselingscomplex (de aan de humus en klei geadsorbeerde kationen). Verwerking is een relatief langzaam proces. Het houdt geen gelijke tred met het vrijkomen van basische kationen van het complex als het aanbod van zuur te hoog is. En dan verzuurt de bodem dus. Bij sterke verzuring kan het bij verwerking vrijgekomen aluminium geen nieuwe kleimineralen vormen en wordt het als Al^{3+} gebonden aan het kationuitwisselingscomplex. Mineralen zoals kaliveldspaat, albiet en muscoviet zijn de belangrijkste verweerbare mineralen met basische kationen (K, Ca, Mg en Na) in de Nederlandse zandbodem. Het zeer resistente kwarts (SiO_2) bevat geen van deze elementen, maar maakt wel 80-90% van de Nederlandse minerale zandbodem uit. Dit laat al zien waarom zandbodems gevoelig tot zeer gevoelig zijn voor verzuring. Verwerking is een proces dat van nature optreedt door koolzuur dat geproduceerd wordt in de bodem. Door de (zeer) hoge verzurende depositie van de afgelopen eeuw is de verwerking ernstig versneld en dit heeft in korte tijd geleid tot een drastische afname van het aan mineralen gereleateerde vermogen om basische kationen te leveren voor kationuitwisseling (Bergsma et al., 2016). Voor veel bodems in het droog zandland-schap betekent dit dat onder de huidige N-depositie geen herstel mogelijk is zonder aanvulling van mineralen met basische kationen.



Figuur 1 overzicht van factoren die in de bodem veranderen bij voortschrijdende bodemverzuring (veranderd naar Bobbink et al., 2014).

Figure 1 scheme of the main changes in the soil during acidification (adapted after Bobbink et al., 2014).

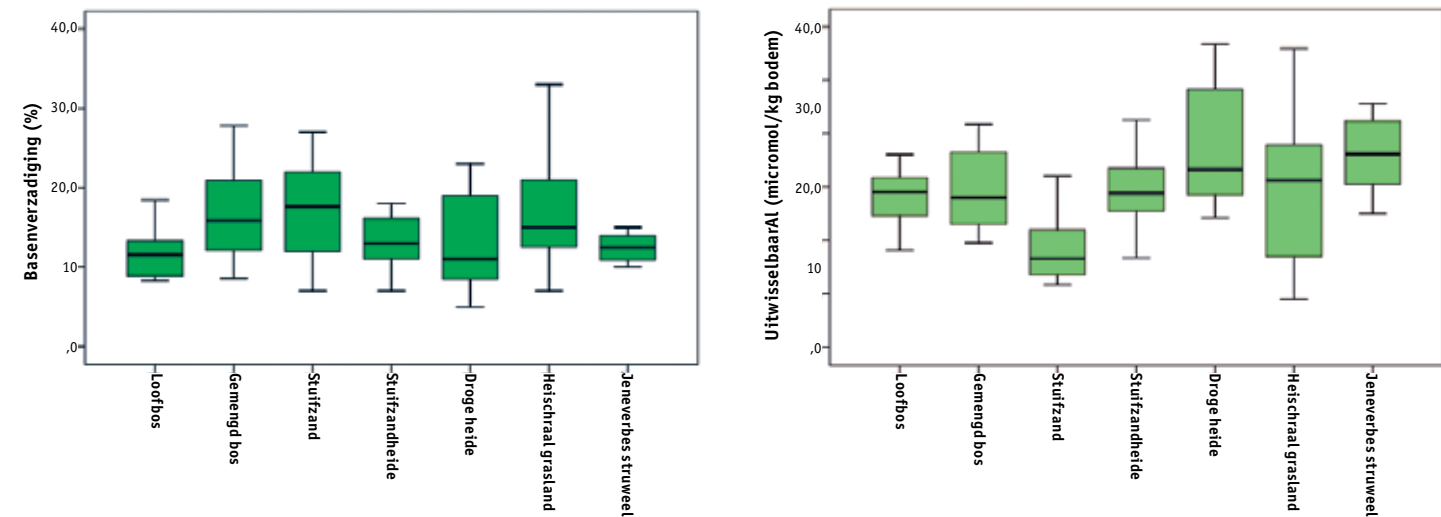
materiaal (decompositie) sterk verminderen waardoor strooiselophoping in verzuurde ecosystemen zeer algemeen is (figuur 1). Een groot deel van de bossen van het droog zandlandschap wordt gekenmerkt door boomsoorten zoals zomereik (Quercus robur), beuk (Fagus sylvatica) en grove den (Pinus sylvestris) met moeilijk afbreekbaar strooisel. Dit heeft geleid tot stapeling van organisch materiaal op de bodem waardoor dikke zure strooiselpakketten zijn ontstaan. De zuurproductie bij de afbraak leidt tot het verder uitspoelen van basische kationen uit de bodem. In feite worden de gesignaleerde problemen door de verzurende depositie alleen maar versterkt door de ongunstige strooiseleigenschappen van deze bomen. Dit heeft er toe geleid dat ook bodems onder bos degraderen, waarbij bijvoorbeeld oude bruine bosgronden omslaan in podzolen met typische verbleking in de bovengrond.

Achteruitgang nog niet gestopt

Uit recente gegevens blijkt dat veel kenmerkende planten- en diersoorten van het droog zandlandschap de

laatste 10-20 jaar nog steeds achteruit gaan. Dit ondanks de afname in N-depositie in de laatste decennia en herstelbeheer gericht op afvoer van overvloedige N door bijvoorbeeld plaggen van droge heide. De voortschrijdende verzuring van het droog zandlandschap is door bron-gerichte maatregelen wel vertraagd, maar niet gestopt, zoals uit het volgende blijkt.

In 2016 zijn in het kader van OBN exact dezelfde bodemmetingen uitgevoerd in zomereikbestanden als zo'n 25 jaar eerder (1990-1992) op dezelfde locaties. De grootte van het adsorptiecomplex was niet veranderd, maar de basenverzadiging was verder gedaald. In vrijwel alle onderzochte bossen is een basenverzadiging gemeten van 5-15% in de bovenste 30 centimeter van de bodem. Vooral bossen met een basenverzadiging van 20-60% bij de eerste meting bleken nu onder de 15% uit te komen. Kortom, het verlies aan basische kationen (Ca, K en Mg) is nog niet gestopt (De Vries et al., in druk). Deze droge eikenbossen lijken, zonder ingrijpen, volledig verzuurd te raken. Hierbij bestaat de kans dat de beschikbare kationen ten slotte ook uit de diepere bodemlagen (0,5-1,5

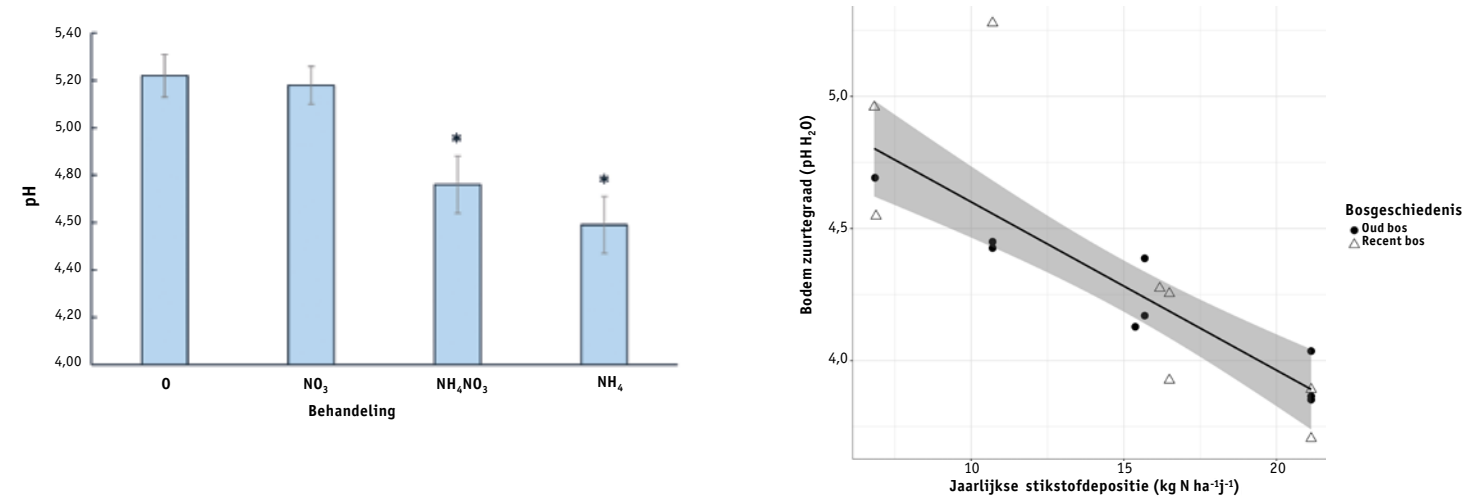


Figuur 2 basenverzadiging (% na SrCl_2 -extractie; links), en de concentratie uitwisselbaar-Al ($\mu\text{mol/kg}$ droge bodem na zout-extractie; rechts) in de bodem van kenmerkende vegetaties in het droge gedeelte van Nationaal Park De Hoge Veluwe (Weijters & Bobbink, in voorbereiding).

Figure 2 base saturation (% in SrCl_2 extraction; left) and the concentration of exchangeable Al ($\mu\text{mol/kg}$ dry soil in NaCl extraction; right) in the topsoil of characteristic vegetation types in the dry part of Hoge Veluwe National Park (Weijters & Bobbink, in prep.).

meter) verdwijnen en Al^{3+} gaat overheersen. De gevolgen voor het bosecosysteem en de bomen zijn groot zoals blijkt uit de verhoogde sterfte van zomereiken (Lucassen *et al.*, 2014; Oosterbaan *et al.*, 2015). De doorgaande bodemverzuring heeft ook effecten op de ondergroei. Veel typische bosplanten zoals bosanemoon (*Anemone nemorosa*) of bleeksporig bosviooltje (*Viola riviniana*) hebben een minder zure bovengrond nodig en zullen zich uiteindelijk niet kunnen handhaven. De stapeling van strooisel speelt hierbij eveneens een rol: deze persistente laag verstikt uiteindelijk soorten die op de bosbodem groeien. Een tweede voorbeeld komt uit een recente studie in droge heischrale graslanden. De biodiversiteit van deze graslanden – kenmerkend voor meer gebufferde delen van het droog zandlandschap – is sinds de jaren zeventig van de vorige eeuw sterk achteruit gegaan (o.a. Bobbink *et al.*, 2004; Oostermeijer *et al.*, 2016). Gebleken is dat de concentratie uitwisselbaar Ca^{2+} en ook de basenverzadiging in de bodem van droge heischrale graslanden in

Nederland bijna altijd aanzienlijk lager is dan in het buitenland. Het grootste verschil is de depositie van N. In de buitenlandse heischrale graslanden is deze lager dan 12 kg/ha/jaar, de kritische depositiewaarde voor heischrale graslanden. Ook is gevonden dat het voorkomen van kenmerkende en Rode Lijstplantensoorten in Nederlandse droge heischrale graslanden zeer beperkt is, en dat deze soorten eigenlijk alleen nog daar worden aangetroffen waar de bodem door allerlei lokale oorzaken niet verzuurd is (Van der Zee *et al.*, in druk). Het derde voorbeeld komt uit recent onderzoek in het Nationale Park De Hoge Veluwe. In 2015 en 2016 is hier de basenverzadiging van de bodem en de hoeveelheid Al^{3+} aan het uitwisselingscomplex onder een aantal kenmerkende droog zandhabitattypen gemeten (figuur 2). De wat meer gebufferde plaatsen, met een bezetting tussen de 25-60%, zijn nauwelijks meer aangetroffen en opneembaar Al^{3+} is nu in hoge concentraties aanwezig (Maaïke Weijters en Roland Bobbink, persoonlijke mededeling).



N-depositie en bodemverzuring

Het is lastig om een causaal verband te leggen tussen bodemverzuring van droge zandgronden en de hoge N-depositie. De beste manier om de ecologische gevolgen van N-depositie te achterhalen is het uitvoeren van langetermijn N-additie-experimenten in gebieden waar de N-depositie nog heel weinig verhoogd is (Bobbink & Hettelingh, 2011). In zo'n experiment in Noorwegen, een regio met een zeer lage N-depositie, zijn verschillende vormen van N toegediend in een heischraal grasland. De verhoogde N-depositie zorgde in het zevende groeiseizoen voor een significante daling van de pH (figuur 3) en van de uitwisselbare kationen. Deze significante daling werd alleen gevonden als er ook gereduceerd N (NH_4^+) was toegediend. Gereduceerd N is al decennia lang de hoofdcomponent (> 70%) van de N-depositie in Nederland. Ook verschillen in reactie bij een N-depositiegradiënt binnen een habitattype zijn in het laatste decennium veelvuldig onderzocht, bijvoorbeeld door Stevens *et al.*

Figuur 3 de pH- H_2O van de toplaag van de bodem na 7 jaar beregening met nitraat, ammoniumnitraat of ammonium (70 kg N/ha/jaar) of met schoon regenwater (0) in een heischraal grasland (*Violion caninae*) in Noorwegen (Revne) met achtergronddepositie van 4-6 kg N/ha/jaar. Voor details, zie Dorland *et al.* (2013).

Figure 3 topsoil pH- H_2O after 7 years of N addition as nitrate, ammoniumnitrate or as ammonium (70 kg N/ha/year) or in the untreated control (0) in an acidic grassland (*Violion caninae*) in Revne, Norway with a background deposition of 4-6 kg N/ha/year. For experimental details, see Dorland *et al.* (2013)

Figuur 4 de pH- H_2O van de toplaag van de bodem van oude en jonge voedselarme loofbossen, veelal met zomereik over een Europese gradiënt van N-depositie (kg N/ha/jaar). Gegevens verzameld door Haben Blondeel, Kris Verheyen en anderen in het kader van het ERC-project PASTFORWARD.

Figure 4 pH- H_2O in the topsoil of oligotrophic deciduous forests (old and recent stands) with *Quercus* across an European gradient of atmospheric N deposition. Data collected by Haben Blondeel, Kris Verheyen and others in the framework of the ERC-project PASTFORWARD



Foto **Hans Dekker** heischraal grasland met valkruid bij Havelte.

(2010). Zeer recent is de relatie tussen bodem-pH en N-depositie uitgezocht in verschillende bostypen bij een N-gradiënt van minder dan 5 tot bijna 25 kg N/ha/jaar. Het betrof bossen in Noord-Frankrijk, Vlaanderen, Duitsland, Zuid-Zweden en Estland, waarbij zowel oude als recente bossen in het onderzoek zijn betrokken. Voor loofbossen op oligotrofe bodems, veelal met zomereik, werd een significante negatieve correlatie gevonden tussen N-depositie en bodem-pH: bij een N-depositie onder de 12,5 kg N/ha per jaar lag de pH altijd tussen 4,4 en 5,3 terwijl deze waarde bij N-deposities boven de 20 kg N/ha/jaar duidelijk lager was dan 4,0 (figuur 4).

Herstelopties

De zojuist beschreven ontwikkelingen hebben een voortschrijdende nivellering van de biodiversiteit van

het droog zandlandschap tot gevolg door het steeds minder voorkomen van locaties met wat meer bodembuffering. Dit geldt niet alleen voor vegetatie, maar ook voor de fauna (Van den Burg & Vogels, dit nummer). De druk op de kenmerkende biodiversiteit geldt voor een groot aantal habitattypen van het droog zandlandschap, zoals stuifzand, droge heide, jeneverbesstruwen, heischrale graslanden en loofbossen, en de achteruitgang van de biodiversiteit is op veel plaatsen in het droog zandlandschap nog niet gestopt.

Niet alleen de basenverzadiging van droge zandbodems is verminderd, ook de onderliggende voorraad verweerbare mineralen met basische kationen is significant aangetast (Bergsma et al., 2016). Dit betekent dat de bodem zich bij gelijkblijvende zuurlast niet kan herstellen maar juist achteruit blijft gaan. Aanvulling met gemalen silicaatmineralen (steenmeel) kan er in principe voor zorgen dat het verlies van verweerbare mineralen gecompenseerd wordt en er weer verbetering gaat optreden (Weijters et al., 2017).

Het kleinschalig plaggen met daarna bekalken is bewezen effectief voor het duurzaam herstel van droge heischrale graslanden en voorheen soortenrijke heide (Bobbink et al., 2004). Dit heeft er bijvoorbeeld voor gezorgd dat restpopulaties van valkruid (*Arnica montana*) zich lokaal weer konden uitbreiden en zich nu al 25 jaar handhaven (Van der Zee et al., in druk). Het is echter lang niet altijd wenselijk om te plaggen en te bekalken, zeker niet op veel locaties met zure droge heide (zie voor details Van den Burg & Vogels, dit nummer). Toch kan deze maatregel lokaal essentieel zijn om op korte termijn verlies van plantensoorten te voorkomen, totdat via steenmeeltoediening de minerale motor van het systeem weer draait en de basenbezetting weer in voldoende mate wordt aangevuld.



Figuur 5 drie bodemprofielen verzameld onder verschillende boomsoorten op eenzelfde bodemsubstraat vlak bij elkaar. Onder zomereik heeft zich een dikke strooisellaag opgestapeld, terwijl onder Amerikaanse vogelkers duidelijk minder strooiselophoping plaatsvindt. Foto: **Jan den Ouden**.

Figure 5 accumulation of litter and organic material under 3 tree species (*Quercus robur*, *Betula pendula* and *Prunus serotina*), growing nearby each other (within 100 m) on the same subsoil. Litter accumulation was clearly more distinct under the *Quercus* (left profile). Photo: **Jan den Ouden**.

Herstel op plekken waar de doelsoorten al verdwenen zijn is moeilijker, aangezien soorten na herstel van de abiotiek in het huidige sterk versnipperde landschap niet of nauwelijks vanzelf terug kunnen komen en vaak geen langlevende zaadvoorraad hebben (Loeb & Weijters, 2013). Er zijn goede resultaten te behalen door op geschikte of geschikt gemaakte plekken vers, soortenrijk maaisel en/of vitale zaden in te brengen. Dit is cruciaal omdat veel populaties van soorten uit voorheen gebufferde habitats zo klein zijn geworden en genetisch zo weinig divers, dat populatieversterking en herstel van het metapopulatiernetwerk onontbeerlijk is (Oostermeijer et al., 2016; Van der Zee et al., in druk). Hierbij moet niet alleen oog zijn voor herstel van de bovengrondse soortenrijkdom. Herstel van het bodemleven blijkt de kans op succes te vergroten (Van der Bij et al., in druk; Wubs et al., 2016).

Ook in bossen ligt de sleutel tot succesvol herstel waarschijnlijk in het combineren van maatregelen. Wanneer in bossen de boomlaag gedomineerd blijft worden door soorten met slecht afbreekbaar strooisel, zal de bovengrond bij de huidige depositie verder verzuren. Voor een verandering op systeemniveau kan het inbrengen van boomsoorten met gunstige strooiseleigenschappen mogelijk een oplossing bieden (Hommel et al., 2007). Door de betere afbreekbaarheid van het strooisel kan zich een rijkere bodemfauna ontwikkelen die de hogere gehalten aan basische kationen uit de bladeren in de kringloop kunnen houden. Dit kan al binnen enkele decennia leiden tot spectaculaire veranderingen in de humusvorming, met hogere pH, een betere basenbezetting en minder stapeling van organische stof op het bodemoppervlak tot gevolg. Als icoon voor dit effect heeft de linde al enige bekendheid verworven, maar ook soorten

als hazelaar (*Corylus avellana*) of esdoorn (*Acer* sp.) kunnen hier een belangrijke functie vervullen. En ook de Amerikaanse vogelkers (*Prunus serotina*) kan de humusvorming sterk verbeteren (Nyssen *et al.*, 2013; Lorenz *et al.*, 2004), zie figuur 5. Gecombineerd met het toevoegen van steenmeel in plantgaten van jonge bomen of opgebracht op de bovengrond lijkt dit een kansrijke maatregel om de verzuurde bossen op termijn duurzaam te herstellen. Sinds 2016 wordt hier onderzoek naar gedaan (Nyssen *et al.*, 2016).

In het kader van OBN, het PAS en vanuit de provincies Noord-Brabant, Drenthe en Gelderland is er sinds medio 2014 onderzoek gestart naar de mogelijkheden om de verzuurde bodems van droge of natte heide door toediening van steenmeel te herstellen (Weijters *et al.*, 2017). Daarnaast wordt deze maatregel sinds zeer recent (2016) zowel getest in droge loofbossen met zomereik

Summary

Soil acidification: a continuous threat in the dry sandy regions of the Netherlands

Roland Bobbink, Huig Bergsma, Jan den Ouden & Maaïke Weijters

Nitrogen deposition, forests, heathlands, restoration, rock powder

Many ecosystems of high conservation value, such as heathlands, acidic grasslands and deciduous woodlands are characteristic for the Pleistocene sandy areas of the Netherlands. Nowadays, most of them are restricted to nature reserves, including Natura 2000 sites. The biodiversity of these typical ecosystems has been severely affected by the impacts of atmospheric N (and formerly S) deposition since the 1970s. However, despite of the very

als in een verzuurd heischraal grasland. Verder wordt onderzocht of en hoe het areaal aan goed ontwikkelde heide en heischrale graslanden uitgebreid kan worden op voormalige landbouwgronden die niet verzuurd zijn (Loeb *et al.*, 2013; Weijters *et al.*, 2015). De rol van het bodemleven is vaak ook onderdeel van deze studies. Bovenstaande onderzoeken geven blijk van een besef van urgentie bij zowel OBN als bij de verschillende provincies, maar om de kwaliteit van de natuur in het droog zandlandschap in de toekomst te kunnen waarborgen is een provincie-overstijgende aanpak vereist. Hierbij is het cruciaal dat er zowel aandacht wordt besteed aan het ontwikkelen van adequate herstelmaatregelen als aan het aanvullend verminderen van de nog steeds veel te hoge N-depositie in het Nederlandse zandgebied.

strong reduction in S deposition in the last 3 decades, it has become clear that the impacts of atmospheric N deposition are still evident in ecosystems on dry, sandy soils. Recent studies have demonstrated that soil acidification still continues under the present N loads, regardless of its reduction in the period 1993 to 2004. It has led to base cation depletion, high aluminium and ammonium concentrations and very low levels of silicate minerals with base cations. Restoration of these degraded ecosystems on dry soils is very urgent, and innovative measures are under study to counteract soil acidification with experimental addition of ground silicate rocks ('rock powder'). Furthermore, additional reduction of the N deposition is highly needed to prevent (re)degradation in the near future.

Literatuur

Bergsma, H., J. Vogels, M. Weijters, R. Bobbink, A. Jansen & L. Krul, 2016. Tandrot in de bodem. Bodem 26(1): 27-29.

Bij, A.U. van der, M.J. Weijters, R. Bobbink, J.A. Harris, M. Pawlett, K. Ritz, P. Radochová, J. Moradi, J. Frouz & R. van Diggelen, in druk. Facilitating ecosystem assembly: plant-soil interactions as a restoration tool. Biological Conservation.

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

Bobbink R. & J.P. Hettelingh (eds.), 2011. Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships. Coordination Centre for Effects, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), RIVM report 680359002/2011 (244 pp).

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: N.A.C. Smits & D. Bal (red.). Herstelstrategieën stikstofgevoelige habitats. Alterra WUR & Ministerie EZ. Deel 1, H-2: 41-110.

Burg, A. van der & J. Vogels, 2017. Zuur voor de fauna. Soorten bos en hei missen essentiële voedingsstoffen. Landschap 34/2: 71-79.

Dorland, E., C.J. Stevens, C. Gaudnik, E. Corcket, S. Rotthier, K. Wotherspoon, M. Jøkerud, V. Vandvik, M.B. Soons, M.M. Hefting, P. Arild Aarrestad, D. Alard, M. Diekmann, C. Duprè, N.B. Dise, D.J.G. Gowing & R. Bobbink, 2013. Differential effects of oxidised and reduced nitrogen on vegetation and soil chemistry of species-rich acidic grasslands. Water Air and Soil Pollution 224: 1664-1678.

Hommel, P.W.F.M., R.W. de Waal, B. Muys, J. den Ouden & T.H. Spek, 2007. Terug naar het lindewoud. Zeist. KNNV Uitgeverij.

Loeb, R., A. van der Bij, R. Bobbink, F.J. Frouz & R. van Diggelen 2013. Ontwikkeling van droge heischrale graslanden op voormalige landbouwgronden. Den Haag. Directie Agrokennis, Ministerie van Economische zaken. Rapportnummer 2013/OBN176-DZ.

Loeb, R. & M.J. Weijters, 2013. Introductie van soorten via maaisel na herinrichting: ongeduld of wijsheid? De Levende Natuur 114 (4): 157-159.

Lorenz, K., C. M. Preston, S. Krumrei & K.-H. Feger, 2004. Decomposition of needle/leaf litter from Scots pine, black cherry, common oak and European beech at a conurbation forest site. European Journal of Forest Research 123: 177-188.

Lucassen, E.C.H.E.T., L.J.L. Van den Berg, R. Aben, A.J.P. Smolders, J.G.M. Roelofs & R. Bobbink, 2014. Bodemverzuring en achteruitgang zomereik. Landschap 31/4: 185-193.

Nyssen, B., J. den Ouden & K. Verheyen, 2013. Amerikaanse vogelkers: Van bospest tot bosboom. Zeist. KNNV Uitgeverij.

Nyssen, B.J.M., R.F. van der Burg & E. Desie, 2016. Regime shift in bossen op zandgronden; LESA toont de kansen. De Levende Natuur 117 (6): 230-234.

Oosterbaan, A., R. Bobbink & M. Decuyper, 2015. Eikensterfte: een serieus en complex probleem. Vakblad Natuur Bos en Landschap 12 (maart): 11-14.

Oostermeijer, G., S. Luijten, M. Weijters & R. Bobbink, 2016. Rozenkransje en heischraal grasland in Drenthe. De Levende Natuur 117 (1): 22-27.

Siebel, H.N. & R. Bobbink, 2017. OBN en het droog zandlandschap. Landschap 34/2: 57-59.

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: 2940-2945.

Vries, W. de, R. Bobbink, A. de Jong & M.J. Weijters, in druk. Herstel van droge loofbossen - OBN tussenrapport 2017. Driebergen. VBNE.

Weijters, M., A. van der Bij, R. Bobbink, R. van Diggelen, J. Harris, M. Pawlett, J. Frouz, A. Vliegenthart & R. Vermeulen, 2015. Praktijkproef heideontwikkeling op voormalige landbouwgrond in het Noordenveld - Resultaten 2011-2014. Assen. Provincie Drenthe/VBNE.

Weijters, W., R. Bobbink, E. Verbaarschot, J. Vogels, H. Bergsma & H. Siepel, 2017. Herstel van heide door middel van steenmeelgift: (tussen)rapportage 2017. 's Hertogenbosch, Provincie Noord-Brabant/ Driebergen, OBN-VBNE.

Wubs, E.R.J., W.H. van der Putten, M. Bosch & T.M. Bezemer, 2016. Soil inoculation steers restoration of terrestrial ecosystems. Nature Plants 2: 1-5.

Zee, F. van der, R. Bobbink, R. Loeb, M. Wallis de Vries, G. Oostermeijer, S. Luijten & M. de Graaf, in druk. Naar een Actieplan Heischrale graslanden: hoe behouden en herstellen we heischrale graslanden in Nederland? Wageningen. Wageningen Environmental Research.



Zuur voor de fauna

Soorten bos en hei missen essentiële voedingsstoffen

De faunagemeenschap van het droog zandlandschap neemt af onder invloed van stikstofdepositie. Deze heeft ertoe geleid dat de soortensamenstelling van de vegetatie is verarmd. Beheermaatregelen, gericht op de afvoer van stikstofoverschotten, hebben niet geleid tot herstel van de fauna, omdat hierdoor ook essentiële voedingsstoffen zijn afgevoerd. Dit artikel beschrijft hoe stikstofdepositie via een veranderende vegetatiesamenstelling resulteert in een afname van de karakteristieke fauna van bos en hei.

Droogte en warmte zijn sleutelfactoren voor de typerende fauna van ongestoorde heide- en stuifzandgebieden. Het droog zandlandschap met een losse, zandige en nutriëntenarme bodem, schrale begroeiing, open, zandige plekken en korstmossen biedt deze randvoorwaarden volop. Tel hierbij een continu en ruim aanbod op van kruidachtige bloemplanten en je hebt een heide of stuifzandgebied, waar naast insecten, zoals talloze wespesoorten, mieren, (zand)bijen, wrattenbijters (*Decticus verrucivorus*), kleine heivlinders (*Hipparchia statilinus*), kommavlinders (*Hesperia comma*), duin- en grote parelmoervlinders (*Argynnis niobe*, *Argynnis aglaja*) ook de nachtzwaluw (*Caprimulgus europaeus*), klapekster (*Lanius excubitor*), korhoen (*Tetrao tetrix*), tapuit (*Oenanthe oenanthe*), draaihals (*Jynx torquilla*), duinpieper (*Anthus campestris*), hagedissen en slangen zich thuis zullen voelen. In het huidige Nederlandse droge heideareaal lijken dergelijke faunarijke habitats haast utopisch, terwijl ze tot medio vorige eeuw nog alom aanwezig waren (Vogels et al., 2011; Peeters et al., 2004; Nijssen et al., 2011; SOVON, 1987; vlindernet.nl).

N-depositie: ander habitat en andere fauna

Met de verarming in de soortensamenstelling van de vegetatie (Bobbink et al., dit nummer) is ook de diversiteit van de fauna achteruit gegaan. Vergrassing en vermossing hebben ertoe geleid dat er minder open plekken zijn voor insecten en reptielen om op te warmen of

hun nest te graven. Het gebrek aan bloemplanten zorgt ervoor dat nectar en pollen maar af en toe beschikbaar zijn, waardoor dieren die hiervan afhankelijk zijn vaak geen voedsel kunnen vinden. De toegenomen vegetatiebedekking leidt er ook toe dat er minder zoninstraling en waterverdamping zijn in de bovenlaag van de bodem, waardoor het microklimaat kouder en vochtiger wordt – ongunstig voor karakteristieke soorten, zoals de kleine heivlinder (Nijssen et al., 2011). N-depositie werkt dus de sleutelfactoren voor faunarijke gemeenschappen van heide en stuifzandgebieden tegen via veranderingen in de vegetatie.

Door hun opgaande structuur vangen bossen meer stikstof- en andere verzurende depositie in dan open landschappen als heiden en stuifzanden. Het microklimaat is er echter van nature koeler en vochtiger, zodat specialisten van warmte en droogte minder in bossen te vinden zijn. Een versnelde vegetatiegroei als gevolg van N-depositie (Bobbink et al., dit nummer) heeft hierdoor een kleiner effect op de fauna in bossen dan in heide en stuifzandgebieden. Toch zijn er in bossen op arme zandgronden ook veel diersoorten die in aantal achteruit zijn gegaan waarbij een effect van N-depositie aannemelijk is, zoals zweefvliegen die afhankelijk zijn van bloemplanten en/of bladluizen (Van Steenis & Reemer, 2013), bosmieren (Mabelis & Korczyńska, 2016), huisjeslakken (Graveland, 1995), wielewaal (*Oriolus oriolus*), zomertortel (*Streptopelia turtur*), groene specht (*Picus viridis*)

Dr. Ir. A.B. (Arnold) van den Burg
Stichting Biosfeer,
Onderlangs 17, 6731BK Otterlo
biosfeer@upcmail.nl

Drs. J.J. (Joost) Vogels
Stichting Bargerveen

Foto **Marije Louwsma**.
Nationaal Park De Hoge Veluwe.

en veel soorten roofvogels (zie verderop in dit artikel). Maar er zijn meer factoren die de bosfauna veranderen. Nederlandse productiebossen krijgen meer en meer een natuurfunctie in plaats van alleen een productiefunctie met een daarop aangepast beheer. Hierdoor zijn bijvoorbeeld soorten die van dood hout afhankelijk zijn, zoals xylofage zweefvliegen (Van Steenis & Reemer, 2013), toegenomen. Het vergt dus nauwgezet onderzoek om in het woud van effecten de relaties met N-depositie en bodemverzuring te kunnen leggen.

Vegetatiebeheer en fauna

Om de vergrassing door bochtige smele en pijpenstroo-
tje te keren zijn vanaf begin jaren tachtig van de vorige eeuw veel beheerplannen gericht op het maximaliseren van stikstofafvoer. In de periode 1980-2000 zijn als gevolg hiervan vele hectaren vergraste heidebodem afgeplagd. Voor herstel van de vegetatie bleek deze maatregel erg effectief: na afplaggen ontwikkelde zich een door heidestruiken gedomineerde vegetatie (Diemont, 1996), zie figuur 1. Aangenomen werd dat met het herstel van de vegetatie de daarbij behorende diersoorten ook zouden profiteren. Dit bleek echter nauwelijks het geval. Zo gingen verreweg de meeste karakteristieke diersoorten van de heidegebieden van Natuurmonumenten rond 2004 onverminderd achteruit in aantallen en verspreiding (Van Tooren et al., 2004) ondanks positieve trends bij een aantal plantensoorten.

Het uitblijven van succes bij faunaherstel in het droog zandlandschap is mede terug te voeren op intensieve beheervormen die erop gericht zijn stikstof uit het ecosysteem te verwijderen (Vogels et al., in druk; Vogels et al., 2016b). Door dergelijke maatregelen worden niet alle knelpunten voor bedreigde diersoorten weggenomen, maar worden ze in veel gevallen eerder versterkt. Zo heeft heide op geplagde bodems stevast een veel hoge-

re N/P-ratio dan heide op ongeplagde bodem (Vogels et al., in druk). Met andere woorden: er zit in deze planten weinig fosfor in verhouding tot stikstof. Het relatief lage aandeel fosfor blijkt de belangrijkste voorspeller te zijn voor een lage abundantie van herbivore vliegen, muggen en loopkevers en voor de structuur en soortenrijkdom van de vegetatie (Vogels et al., in druk). Uit kweekproeven blijkt dat veldkrekels (*Gryllus campestris*), die voedsel ontvingen met een lage N/P-ratio of van een met P verrijkte bodem, significant meer eieren per dag leggen dan veldkrekels, die voedsel met een hoge N/P-ratio kregen of zonder experimentele P-toevoeging (Vogels et al., 2013b; Vogels et al., 2016b).

De meeste P in heidebodems is opgeslagen in het organisch materiaal in de bovenste bodemhorizonten. Wegplaggen van deze laag leidt dus tot verhoogde P-limitatie en bijgevolg hogere N/P-ratio in de plant. Aangezien door nog steeds te hoge N-depositie de heroplading van geplagde bodems met stikstof in enkele decennia op kan treden, maar het heropladen van de bodem met voor planten beschikbare fosfor veel trager verloopt (eeuwen), is het toepassen van plagmaatregelen geen duurzaam inzetbare maatregel om stikstofeffecten tegen te gaan (Siepel et al., dit nummer).

Ook verzuring van de bodem leidt tot een verminderde voedselkwaliteit van planten (Vogels et al., 2011; Vogels, 2013; Vogels et al., 2013b). De hoeveelheid P in de plant wordt niet alleen bepaald door voor de plant beschikbaar P in de bodem, maar ook door de bufferstatus van de bodem. Op sterk zure bodems is de N/P-ratio van de vegetatie beduidend hoger dan onder meer gebufferde omstandigheden. Onder zure omstandigheden wordt P vastgelegd in, voor planten moeilijk af te breken, ijzer- en aluminiumverbindingen (Blume et al., 2016). Antropogene bodemverzuring heeft dus bijgedragen aan een afname van de P-beschikbaarheid (en die van andere



nutriënten) voor planten in het droge heidelandschap. Er is sinds de tachtiger jaren van de vorige eeuw nauwelijks aandacht geweest voor het verhelpen van schade aan de nutriëntensamenstelling van de bodem als gevolg van bodemverzuring (Siepel et al., 2009; Bergsma et al., 2016; Vogels et al., 2016a).

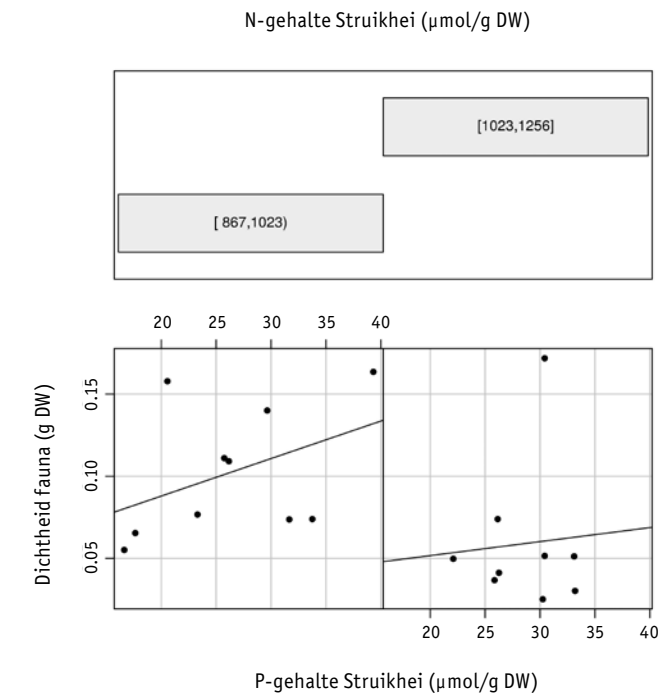
P-beschikbaarheid en het korhoen

N-depositie en verzuring hebben niet alleen implicaties voor herbivoren, maar kunnen uiteindelijk ook nadelig invloed uitoefenen op hogere trofische niveaus en wellicht verklaren waarom veel karakteristieke vogelsoorten van het droog zandlandschap het zwaar hebben. In

een studie in het Nationaal Park de Sallandse Heuvelrug is nagegaan of een hogere N/P-ratio heeft geleid tot het afnemen van de habitatkwaliteit voor de korhoenpopulatie, die daar als enige in Nederland nog aanwezig is en sterk in haar voortbestaan bedreigd (Vogels, 2013). In het gebied is op twintig locaties de totale hoeveelheid biomassa van alle ongewervelde fauna in de vegetatie bepaald en vergeleken met de resultaten van een vergelijkbare buitenlandse studie (Baines et al., 1996). De aanwezigheid van rupsen (een belangrijke prooi-soort voor de kuikens) bleek overal laag te zijn. Bovendien lag op meer dan de helft van de locaties de biomassa van alle ongewervelde organismen ruim onder de minimum-

Figuur 1 intensief vegetatiebeheer leidt tot een landschap dat gedomineerd wordt door struikheide (*Calluna vulgaris*), maar ook tot een landschap dat arm is aan fauna (foto: Arnold van den Burg).

Figure 1 intensive management focused only on heather vegetation restoration results in a landscape dominated by heather, but also in a landscape that is poor in fauna (photo: Arnold van den Burg).



Figuur 2 interactie tussen P en N en de omvang van het positieve effect van P op de heidefauna. De faunadichtheid neemt alleen toe met stijgende P-gehaltes in de vegetatie als N concentraties laag zijn (links). Bovenste venster: bereik van N-gehaltes, (niet gepubliceerde gegevens Joost Vogels).

Figure 2 interaction between P and N and the extent of the beneficial effect of P for heathland fauna. The density of fauna only increases with increased P concentrations in heather if N concentrations are low (left panel). Top panel: range of N-levels, (unpublished data Joost Vogels).

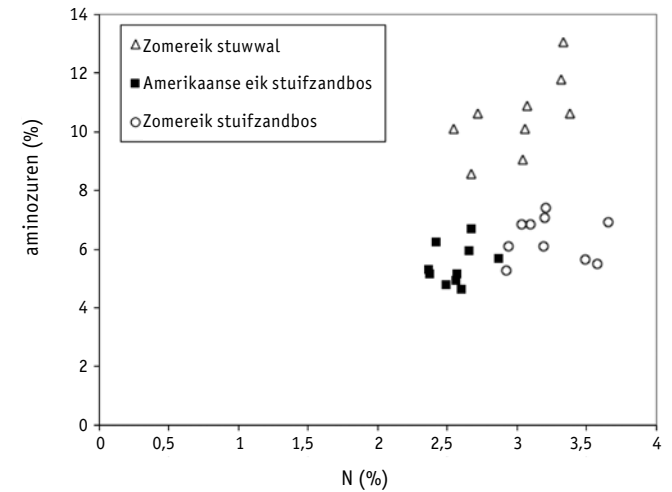
grens zoals door Baines *et al.* (1996) bepaald. Zij troffen gemiddeld 0,19 gram ongewervelde fauna in door korhoenders geprefereerde habitats aan en 0,07 gram in gemeden habitats. Op de Sallandse heuvelrug zijn volgens deze meetwaarden 12 van de 20 locaties met een gemiddeld voedselaanbod van 0,08 gram als slecht te beoordelen en 8 met gemiddeld 0,19 gram als goed. Ook uit deze studie blijkt dat de totale biomassa van de ongewervelde fauna gerelateerd is aan het P-gehalte in de plant en dat hogere N/P-ratio's leiden tot een algehele afname. Dit heeft zeker bijgedragen aan het verdwijnen van het korhoen uit de Sallandse Heuvelrug en de rest van Nederland. Bij hoge stikstofwaarden in de vegetatie heeft het P-gehalte in de planten overigens geen effect meer op de plantkwaliteit en aantallen insecten (figuur 2). De insectenaantallen waren laag ondanks de variatie in het fosforgehalte. Blijkbaar speelt er bij hoge stikstofgehalten in de planten nog een ander probleem dat de ontwikkeling van de fauna afremt.

Extra stikstof leidt tot aminozuurtekort

Als stikstof (door N-depositie) niet meer limiterend is voor de plantengroei, zullen op nutriëntarme bodems in heidegebieden en bossen andere voedingsstoffen, zoals P, mangaan of calcium limiterend worden (Graveland, 1995; Van den Burg *et al.*, 2014). Gevoegd bij de versnelde verwerking van mineralen en uitspoeling van voedingsstoffen door decennia van ernstige verzuring (zie Bobbink *et al.*, dit nummer) betekent dit dat planten op deze bodems met een grote onbalans in voedingsstoffen kampen. Enerzijds bevatten ze veel stikstof, anderzijds te weinig andere voedingsstoffen om die stikstof voor groei aan te kunnen wenden (Van den Burg *et al.*, 2014). Het gevolg is dat de omzettingen van stikstof tot aminozuren en van aminozuren naar eiwitten – voor planten (naast koolhydraten) en dieren de belangrijkste bouw-

stoffen – niet meer efficiënt verlopen in de plant. Vrije aminozuren hopen zich op (Pérez-Soba, 1995) en de overtollige stikstof wordt in andere verbindingen omgezet (zogenaamd non-protein nitrogen, ofwel NPN). De planten op de nutriëntarme bodems van het droog zandland-schap worden dus gekenmerkt door lage totale aminozuurgehalten (vrije aminozuren en aminozuren in eiwitten samen) en hoge NPN-gehalten (Van den Burg *et al.*, 2014).

Het gebrek aan andere voedingsstoffen dan stikstof is vooral manifest in het voorjaar bij het vormen van nieuwe scheuten en bij het uitlopen van de knoppen in de bomen. In jong blad moet de machinerie van de fotosynthese worden opgebouwd, waarbij veel eiwitten zijn betrokken en de eiwitsynthese dus hoog is. Juist het jonge blad wordt daarom graag door herbivoren gegeten, omdat hier normaal gesproken relatief veel aminozuren en eiwitten in zitten ten opzichte van koolstof. Een deel van de nutriënten die planten in hun bladeren brengen in het begin van het groeiseizoen, zoals calcium en mangaan, wordt niet, zoals stikstof (Bazot *et al.*, 2013), teruggetrokken als het blad afsterft, maar moet via de strooisellaag herwonnen worden (Millaleo *et al.*, 2010) en via wortelopname beschikbaar komen. Als bomen genoeg tijd krijgen, kunnen ze gedurende het groeiseizoen wel voldoende nutriënten, zoals calcium en mangaan, opnemen om uiteindelijk een chlorofyl-verzadigd zomerblad te ontwikkelen. Maar over het algemeen blijft op nutriëntenarme bodems de wortelopname van minerale voedingsstoffen achter bij de opname en hergebruik van stikstof uit de stam voor verse bladeren. Het resultaat is dat insecten die jong blad eten van vermeste en verzuurde nutriëntarme bodems minder aminozuren en eiwitten binnen krijgen en meer NPN (Van den Burg *et al.*, 2014), zie figuur 3.



Figuur 3 gehalten van aminozuren (vrije aminozuren samen met vrijgemaakte aminozuren uit eiwitten) in eikenbladeren bij verschillende stikstofconcentraties in het blad en bij verschillende standplaatsen van de eiken. In mineralen- en nutriëntenarm stuifzandbos wordt een groot deel van het opgenomen stikstof in zomereiken (*Quercus robur*) niet in aminozuren omgezet. Op de stuwwal, met een lemiger en fijnzandigere bodem, zijn de aminozuurgehalten hoger en zien we een stijging van aminozuurconcentraties met het stikstofgehalte in het blad. Amerikaanse eiken (*Quercus rubra*) bevatten ten opzichte

van de zomereiken minder stikstof en hebben ook lage waarden voor de aminozuurconcentraties (Van den Burg *et al.*, 2014).

Figure 3 concentrations of a group of amino acids (free amino acids and amino acids hydrolysed from protein) in oak leaves, at different leaf nitrogen contents and at different growth sites of the oaks. In mineral and plant nutrient-poor sand dunes, a large proportion of the nitrogen in common oak (*Quercus robur*) is not assimilated into amino acids. In nutrient-richer conditions, leaves contain higher levels of amino-acids, further increasing if leaves contain more nitrogen. In red

oak (*Quercus rubra*), leaf nitrogen concentrations are low compared to common oaks and contain low amino acid levels (Van den Burg *et al.*, 2014).

Effect aminozuurtekort op de fauna

Voor rupsenpopulaties op zomereiken lijkt vooral het hogere gehalte NPN problematisch voor de ontwikkeling. Amerikaanse eiken uit dezelfde bosvakken, waar wel veel rupsen opzitten (figuur 4), hebben lagere NPN-gehalten. Rupsen op planten met een stikstofoverschot en een relatief nutriëntentekort laten een verhoogde sterfte zien en overlevers hebben een langere ontwikkelingstijd (Vogels et al., 2011; Van den Burg et al., 2014). De aantallen rupsen in bossen op nutriëntenarme zandgronden zijn dan ook sterk gedaald, waardoor er voor bijvoorbeeld de wielewaal te weinig voedsel te vinden is. Sommige insectensoorten zullen in staat zijn ook het NPN te gebruiken, bijvoorbeeld als ze bacteriën in hun darmstelsel hebben, die dat kunnen omzetten. Dit verklaart mogelijk waardoor heidehaantjes en eikenprachtkevers massaal (plaagvormend) kunnen voorkomen op planten, die door bijvoorbeeld vlinderrupsen juist gemeden worden (zie bijvoorbeeld Mann & Crowson, 1983; Martin, 1983). Het is nog onduidelijk of het NPN ook hogerop in de voedselketen effecten heeft.

Dieren kunnen maar een beperkt aantal aminozuren zelf maken. De rest, de 'essentiële' aminozuren, moet uit het voedsel worden opgenomen (bijvoorbeeld Chapman, 1998). Het probleem van een lagere eiwitopname door herbivoren is dat de eiwitvoorziening per trofisch niveau in de voedselketen nijpender wordt. Dit komt doordat specifieke aminozuren worden verbruikt en niet meer beschikbaar zijn voor predatoren. Tryptofaan gaat bijvoorbeeld verloren als het wordt omgezet in niacine (vitamine B3), zie Oser (1965) en zwavelhoudende aminozuren kunnen worden ingebouwd in onverteerbare haren of veren. Bij koolmezen (*Parus major*) zien we mogelijke tekorten terug in aminozuurafhankelijke processen als de accumulatie van vitamine B2 in de eieren, die deels afhankelijk is van tryptofaan

(Van den Burg et al., 2014) en een vertraagde veergroei bij kuikens, deels afhankelijk van zwavelhoudende aminozuren (Van den Burg, ongepubliceerde data). Bij sperwers (*Accipiter nisus*) zijn effecten van aminozuurtekorten veel sterker zichtbaar dan bij koolmezen, waarschijnlijk doordat sperwers simpelweg weer een trapje hoger in de voedselketen zitten (Siepel et al., 2009, Van den Burg et al., 2014). In de legperiode, als er veel specifieke ei-eiwitten gemaakt moeten worden, zien we dat sperwers hun eigen borstspieren moeten afbreken om de onbalans in de aminozuurvoorziening op te heffen en eieren te kunnen leggen. Ook is het niet-uitkomen van eieren geassocieerd met de aminozuurinvesteringen van de sperwers (Van den Burg et al., 2014). Veel sperwers die kampen met een tekort aan specifieke voedingsstoffen komen echter niet aan leggen toe: nesten worden niet afgebouwd of blijven leeg en het territorium raakt vacant (Van den Burg, 2002). In de bossen op vroegere heiden en stuifzanden zijn sperwers dan ook zeer schaars geworden. Ook andere, minder goed onderzochte soorten hebben waarschijnlijk met dezelfde gevolgen van N-depositie te kampen. Haviken (*Accipiter gentilis*), boomvalken (*Falco subbuteo*) en zelfs buizerds (*Buteo buteo*) hebben hun bolwerken in de grote bos- en heidecomplexen op de hoge zandgronden moeten prijsgeven (Van den Burg, 2009, Van den Burg, ongepubliceerde data; sovon.nl).

Perspectief

Hoewel niet alle delen van het voedselweb in gelijke mate zijn aangetast, is de verarming van de karakteristieke fauna van heide- en bosgebieden als gevolg van N-depositie groot. Resultaten van recente studies geven duidelijk aan dat de fauna van het droog zandlandschap niet alleen reageert op aspecten als habitatstructuur, vegetatiesamenstelling en aanwezigheid van een droog en warm microklimaat, maar ook op veranderingen in nu-



Figuur 4 In opstanden waar Amerikaanse eiken en zomereiken gemengd voorkomen, worden de Amerikaanse eiken (rechts) in een rupsenrijk jaar wel kaal gegeten, terwijl de zomereiken (links) worden gemeden en volop in blad staan. (foto: Arnold van den Burg).

Figure 4 In mixed red and common oak stands, red oaks (right) are defoliated in caterpillar-rich years, whereas common oaks (left) are avoided and show full foliage (photo: Arnold van den Burg).

triëntstromen die hun oorsprong vinden in N-depositie. Er is geen kans op grootschalig herstel van de fauna in het droog zandlandschap zolang de N-depositie te hoog blijft en de effecten van verzuring niet worden bestreden. Het habitatype waar met effectgerichte maatregelen de meeste winst is te behalen, is het heidelandschap, maar het beheer van dit landschapstype zal ingrijpend moeten veranderen. Denk hierbij aan het hernieuwd inzetten van 'oude' maatregelen als afbranden gevolgd door drukbegrazing, om de N-afvoer te maximaliseren met behoud van het organisch profiel. Of aan de aanleg van tijdelijke extensieve akkers met als doel

voedselbronnen voor akkervogels te creëren, maar ook om daarna uitbreiding van droge heischrale graslanden mogelijk te maken (Vogels et al., 2013a). Ook dient de diversiteit aan bodems van het heidelandschap, van zwak gebufferde bodems tot sterk zure haarpodzolen en alles daar tussenin, weer hersteld te worden. De aanpak van bodemverzuring is mogelijk ook toepasbaar in bossen. Dit vraagt echter om een specifiek beheer waarbij voedings- en bufferstoffen worden ingebracht (Weijters et al., 2016), die door verzuring en extreme verarming van de bodem te schaars zijn geworden om de biodiversiteit van het droog zandlandschap te kunnen dragen.

Summary

Nitrogen deposition drains fauna

Arnold van den Burg & Joost Vogels

nitrogen deposition, acidification, P-deficiency, amino acid deficiency, fauna

The faunal biodiversity in Dutch dry-sand regions is strongly impacted by acidification and nitrogen deposition. This is firstly due to changes in vegetation composition, e.g. grass encroachment and loss of flowering plants. On heathlands, management has been focused on removing excess nitrogen and restoring ericaceous vegetation. However, other nutrients (like P) have also been removed simultaneously. As a result, plant nutrients have become increasingly unbalanced, resulting in lowered nutritive values for herbivores (P deficits), and decreased insect populations. Nitrogen deposition also leads to soil acidification which accelerates P sequestering in the soil and nutrient leaching, further undermining balanced plant nutrition. Plants cope with ni-

trogen excesses relative to other nutrients by reducing protein synthesis. Excess N is channeled towards other N-compounds than amino acids, causing a further reduction of plant nutritional value. These effects propel up the food chain: in Sparrowhawks, amino acid shortages lead to laying hens metabolizing flight muscle protein, egg failures, and hence strong population decline. Without reduction of nitrogen deposition and restoration of acidified soils it is unlikely the fauna of the Dutch sand region will recover. However, especially for heathlands, a variety of restoration measures is available to alleviate some pressure on the faunal community.

Literatuur

Baines, D., I.A. Wilson & G. Beeley, 1996. Timing of breeding in black grouse *Tetrao tetrix* and capercaillie *Tetrao urogallus* and distribution of insect food for the chicks. Ibis 138: 181-187.

Bazot, S., L. Barthes, D. Blanot & C. Fresneau, 2013. Distribution of non-structural nitrogen and carbohydrate compounds in mature oak trees in a temperate forest at four key phenological stages. Trees 27: 1023-1034.

Bergsma, H., J.J. Vogels, M. Weijters, R. Bobbink, A.J.M. Jansen & L. Krul, 2016. Tandrot in de bodem - hoeveel biodiversiteit kan de huidige minerale bodem nog ondersteunen? Bodem 26(1): 27-29.

Blume, H.P., G.W. Brümmer, H. Fleige, R. Horn, E. Kandeler, I. Kögel-Knabner, R. Kretzschmar, K. Stahr & B.M. Wilke, 2016. Scheffer/Schachtschabel Soil Science. 1st editie. Berlin Heidelberg. Springer-Verlag.

Bobbink, R., H.L.T. Bergsma, J. den Ouden & M.J. Weijters, 2017. Na het zuur geen zoet? Bodemverzuring in droog zandlandschap blijvend probleem. Landschap 34/2: 61-69.

Burg, A.B. van den, 2002. De achteruitgang van de Sperwer *Accipiter nisus* op de ZW-Veluwe; veroorzaakt door predatie of voedselttekort? Limosa 75: 159-168.

Burg, A.B. van den, 2009. Limitations of owl reproduction in the wild: is there a role for food quality besides quantity? Ardea 97 (4): 609-614.

Burg, A. van den, A. Dees, T. Huigens, R.J. Bijlsma & R. de Waal 2014. Voedselkwaliteit en biodiversiteit in bossen van de hoge zandgronden. Den Haag. Directie Agrokennis, Ministerie van Economische Zaken. Rapport 2014/OBN186-DZ.

Chapman, R.F., 1998. The insects, structure and function (4th ed.). Cambridge. Cambridge University Press.

Diemont, W.H., 1996. Survival of Dutch heathlands. IBN Scientific Contributions 1. Wageningen. DLO Institute for Forestry and Nature Research (IBN-DLO).

Graveland, J., 1995. The Quest for Calcium, Calcium limitation in the reproduction of forest passerines in relation to snail abundance and soil acidification. Groningen, Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen (ISBN 90-9008 131-3).

Mabelis, J. & J. Korczyńska, 2016. Long-term impact of agriculture on the survival of wood ants of the *Formica rufa* group (Formicidae). Journal of Insect Conservation 20 (4): 621-628.

Mann, J.S. & R.A. Crowson, 1983. On the occurrence of mid-gut caeca, and organs of symbiont transmission in leaf-beetles (Coleoptera: Chrysomelidae). The Coleopterist Bulletin 37 (1): 1-15.

Martin, M.M., 1983. Cellulose digestion in insects. Comparative Biochemistry and Physiology 75A (3): 313-324.

Millaleo, R., M. Reyes-Díaz, A.G. Ivanov, M.L. Mora & M. Alberdi, 2010. Manganese as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 10: 476-494.

Nijssen M., M.J.P.M. Riksen, L. Sparrius, L. Kuiters, A. Kooiman, R.J. Bijlsma, P. Jungerius, A. van den Burg, H. van Dobben, R. Ketner-Oostra, C. van Swaay, C. van Turnhout & R. de Waal, 2011. Effectgerichte maatregelen voor het herstel en beheer van stuifzanden. OBN stuifzandonderzoek 2006-2010. Den Haag. Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische zaken, Landbouw en Innovatie. (Rapport 2011/OBN144-DZ)

Oser B.L. (ed.) 1965. Hawk's physiological chemistry 14th ed. New York. McGraw-Hill Book Company.

Peeters T.M.J., C. van Achterberg, W.R.B. Heitmans, W.F. Klein, V. Lefebbet, A.J. van Loon, A.A. Mabelis, H. Nieuwenhijzen, M. Reemet, J. de Rond, J. Smit & H.H.W. Veldhuis, 2004. De wespen en mieren van Nederland (Hymenoptera: Aculeata). Nederlandse Fauna 6. Leiden/Utrecht. Nationaal Natuurhistorisch Museum Naturalis/ KNNV Uitgeverij, European Invertebrate Survey Nederland.

Pérez-Soba, M., 1995. Physiological modulation of the vitality of Scots pine trees by atmospheric ammonia deposition. Groningen. Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen.

Siepel, H., H. Siebel, T. Verstrael, A. van den Burg & J. Vogels, 2009. Herstel van langetermijneffecten van verzuring en vermesting in het droog zandlandschap. De Levende Natuur 110: 124-129.

Siepel, H., A. Cliquet, C. Vreugdenhil & R.J. Bijlsma, 2017. Wat kunnen we doen, wat moeten we laten? Herstel van het droog zandlandschap. Landschap 34/2: 87-93.

Sovon, 1987. Atlas van de Nederlandse vogels. Arnhem. SOVON.

Steenis, W. van & M. Reemer, 2013. Zweefvliegen houden van oude bossen. De Levende Natuur 114: 177-181.

Tooren, B. van, N. van der Ploeg & P. Dirks, 2004. Heide-evaluatie 2004 - Een evaluatie van het heide- en stuifzandbeheer bij Natuurmonumenten. 's Graveland. Natuurmonumenten.

Vogels, J., A. van den Burg, E. Remke & H. Siepel, 2011. Effectgerichte maatregelen voor het herstel en beheer van faunagemeenschappen van heideterreinen. Evaluatie en ontwerp van bestaande en nieuwe herstelmaatregelen (2006-2010). Den Haag. Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische zaken, Landbouw en Innovatie. (Rapport 2011/OBN152-DZ).

Vogels, J.J., 2013. Voedsel van korhoenkuikens onder het vergrootglas - De relatie tussen plantkwaliteit en dichtheid van ongewervelde fauna op de Sallandse Heuvelrug. Nijmegen. Stichting Bargerveen.

Vogels, J.J., H.A.H. Jansman, R. Bobbink, M. Weijters, E. Verbaarschot, P.G.A. Ten Den, R. Versluijs & S. Waasdorp, 2013a. Herstellen van akkers als onderdeel van een intact heidelandschap - de koppeling tussen arme heidegebieden en rijkere gronden. Den Haag. Directie Agrokennis, Ministerie van Economische Zaken. (Rapport 2013/OBN179-DZ)

Vogels, J.J., N.R. Webb & H.H. Siepel, 2013b. Economy and ecology of heathlands. Hoofdstuk 14 Impact of changed plant stoichiometric quality on heathland fauna composition. In: W.H. Diemont, W.J.M. Heijman, H.H. Siepel, & N.R. Webb (eds.). Economy and ecology of heathlands. Zeist. KNNV uitgeverij.

Vogels, J.J., R. Bobbink, M. Weijters & H. Bergsma, 2016a. Het droge heidelandschap in de 21e eeuw: aandacht voor mineralogie en historisch landgebruik. De Levende Natuur 117: 245-250.

Vogels, J.J., M. Weijters, R.J. Bijlsma, R.W. de Waal, R. Bobbink & H. Siepel, 2016b. Fosfaattoevoeging Heide. Driebergen. VBNE. (Rapport 2016/OBN207-DZ)

Vogels, J.J., W.C.E.P. Verberk, L.P.M. Lamers & H. Siepel, (in druk). Can changes in soil biochemistry and plant stoichiometry explain loss of animal diversity of heathlands? Biological conservation.

Weijters, M., R. Bobbink, E. Verbaarschot, J.J. Vogels, H. Bergsma & H. Siepel, 2016. Herstel van heide door middel van steenmeelgift – Tussenrapport 2016. Driebergen. Provincie Noord-Brabant, VBNE (OBN-2014-58-DZ) en het Nationaal Park de Hoge Veluwe.

Op Pad met Jap Smits op de Strabrechtse Heide

- CV Jap Smits
- 1969-1973

bosbouwtechnische school Apeldoorn
- 1973-1975

leerlingstelsel voor bosbouw en cultuurtechniek, richting Natuur & Recreatie
- 1973-1975

teammedewerker cultuurtechniek. Cebeco Handelsraad, afdeling Sport en Recreatie
- 1976-1977

rekenaar landmeetkundige dienst, Artillerie Grave (tijdens militaire dienstplicht)
- 1977-1979

bosarbeider Gemeente Mierlo
- 1979-1985

vakarbeider natuurbeheer, Staatsbosbeheer, beheereenheid Heeze (Strabrechtse Heide e.o.)
- 1985-1987

surveillant rondleider/assistent boswachter Staatsbosbeheer, beheereenheid Heeze.
- 1987-1990

plaatsvervangend boswachter Staatsbosbeheer, beheereenheid Heeze.
- 1990-2005

boswachter Staatsbosbeheer, beheereenheid Heeze.
- 2005-heden

boswachter ecologie Staatsbosbeheer, Brabant Zuid-Oost

Functie

2007-heden voorzitter Sectie Thijssse van de Nederlandse Entomologische Vereniging



Verzuring tast de ‘Nachtwacht’ aan



Jap Smits is boswachter ecologie op de Strabrechtse Heide voor Staatsbosbeheer. Deze heide behoort deels tot het droog zandlandschap, deels tot het nat zandlandschap. Maatregelen op het droge deel omvatten begrazen, maaien, branden, en tijdelijke akkers. Plaggen wordt in de droge heide niet meer toegepast. Jap is een wandelende encyclopedie als het gaat om het heidebeheer. Hij heeft er een boek over geschreven en meegewerkt aan een film over de Strabrechtse Heide. En een nieuw boek staat op stapel. Hij werkt intensief samen met OBN-onderzoekers.

Hoe zit het met de stikstofdepositie hier? “Noord-Brabant heeft een enorme stikstofbelasting. Die is wel iets gereduceerd sinds de jaren zeventig. Het PAS (Programma Aanpak Stikstof, red.) geeft ruimte aan ontwikkeling van de landbouw. Ter compensatie van alle ellende mogen wij met technische maatregelen een waardevol heidegebied in stand houden. De huidige depositie is nog vele malen te hoog. Er is maar een ding dat helpt en dat is het mes zetten in onze veestapel. Niet leuk om te vertellen. Persoonlijk denk ik dat we op de foute weg zijn met veeteelt ruimte geven voor ontwikkeling en ons geld geven voor compensatie. Het PAS is dus geen goed beleid, het is een gedrocht.”

In het kantoor van Staatsbosbeheer in Heeze hangt een grote luchtfoto van geplagde heide. Het lijkt wel landschapskunst. Wat zien wij op deze foto?

“Al sinds OBN (Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit, red.) is opgericht, in de jaren tachtig van de vorige eeuw, ben ik bezig met heidebeheer. Het hele plagcircuitus werd gefinancierd door (toenmalig) OBN. Er moest iets gebeuren met de vergrassing. In het kader van de herstelprojecten van OBN konden wij daarmee aan de slag. Vanaf de eerste dag wilde ik al een nuance aanbrengen. In een vergraste vegetatie zag ik heidegebonden plant- en diersoorten. Zou je het gras opruimen dan ruimde je ook die andere organismen op. Dat heeft geleid tot een andere manier van plaggen.



Foto Han Meeuwssen

Wat je op deze luchtfoto ziet is de plagmethode, die hier is ontworpen. In het begin werden grote vierkante vlakken van meer dan een hectare geplagd. Dat vlak was daarna helemaal kaal. Vanaf 2000 hebben we de visgraatmethode toegepast. De visgraat bestaat uit een brede hoofdstrook en smalle zijstroken met geplagde hei. De oppervlakte van deze visgraat is ongeveer anderhalve hectare. De oppervlakte aan grenzen is echter vele malen groter dan bij een vierkant. Die grenzen zijn belangrijk voor het voorkomen van dieren en voor uitwisseling van organismen die het geplagde

gebied weer moeten gaan koloniseren. Voor de levendbarende hagedis zijn maaien en begrazen geen goede maatregelen. Met de visgraatmethode blijven ze in het terrein, ook na het plaggen. Hagedissen houden erg van die randen. In het midden vinden ze veel insecten, aan de rand kruipen ze in de dekking. Dat randeffect van de visgraadmethode hebben we later pas ontdekt. Je vindt het niet alleen in geplagde gebiedjes, maar overal waar randen ontstaan. Koeien- en schapenpadjes werken hetzelfde. Fietspaden ook.



De visgraatmethode is enthousiast ontvangen omdat de resultaten direct zichtbaar waren. De methode wordt nu breed toegepast, op de Veluwe, in Drenthe, zelfs in het buitenland.

Droge hei wordt hier niet meer geplagd, omdat je daarmee de humus weghaalt. Na het plaggen vestigen zich wel planten, maar die bevatten zo weinig sporenelementen dat ze slecht groeien. De bodem hier is het armste van het armste. Struikhei (Calluna) op geplagde hei staat daardoor te verpieteren. En ook de voedingswaarde van die Calluna is niet goed. Er zit alleen maar stikstof in. Daardoor komt de hele voedselketen die afhankelijk is van Calluna niet meer aan zijn trekken. Die soorten krijgen te weinig nutriënten. Het hele ecosysteem stort in elkaar.



Wel grazen, maaïen en branden we. Op de hogere delen voegen we na plaggen kalk toe. En we gebruiken tijdelijke kleinschalige akkers.”

Waarom die akkers?

“Met tijdelijke kleinschalige akkers bootsten we na wat boeren hier in het verleden gedaan hebben. De akkers werden verlaten en alleen begraaasd met schapen die nutriënten terugbrachten. Zo ontstond een fantastisch soort vegetatie. Ik wil dit toepassen zolang we geen maatregelen hebben om grootschalige verzuring te beperken. Op deze plek stond 100 procent pijpenstrootje. We branden dat af. Daarmee verdwijnt stikstof. Dan zetten we er een raster omheen en kan de herder twee jaar lang er zijn schapen brengen. Die leveren een

dikke laag schapenkeutels met fosfaat. We halen vervolgens het raster weg en werken de mest onder. Daarna enkele jaren rogge. Wanneer die het niet meer doet vervolgen we met boekweit. Ten slotte mag de hei er zich weer vestigen.

We staan nu op een akkertje waar de hei weer is teruggekeerd. Een kruidenrijke hei vind je hier. De Calluna heeft hier een groeiaar van wel meer dan tien centimeter, veel groter dan de hei daarbuiten. Het krioelt hier ook van de veldkrekels. Kleinschalige tijdelijke akkers zijn een vast onderdeel van het heidebeheer. De akkertjes worden alleen aangelegd op verstoorde bodems waar geen haarpodzol voorkomt. Ze zijn maximaal een halve hectare. We willen altijd een of twee akkers op deze hei hebben liggen.



Dit was de plek waar ik als amateurentomoloog de soorten vond die in de hei thuishoren. Dat verbaasde me. Waarom heb ik hier al die heidesoorten en daar niet meer? Wat bleek? Hier vinden ze de nutriënten die ze nodig hebben. Daar niet meer. Uit onderzoek bleek dat vroeger op de Strabrechtse Heide veel meer akkers voorkwamen. Rond die akkers leefden typische heidesoorten. Maar zijn het wel typische heidesoorten? Ik denk dat het soorten zijn van het heidelandschap. Daar horen akkers bij. Maar je kunt niet overal akkers maken. Wat moet je doen om de kwaliteit van deze plek te bereiken? Steenmeel.”

Waarom Steenmeel?

“We zijn hier de afgelopen 60-70 jaar veel mineralen kwijtgeraakt, ruwweg geschat

40 ton per hectare. Eerst door zwavel en nu door ammoniak en stikstof. De zwaveldepositie is nu gereduceerd. Maar de schade ervan, de uitspoeling van sporenelementen, kunnen we niet meer repareren. Als je de stikstofdepositie weet te stoppen dan nog zit je met een historisch probleem dat het systeem onderuit geschoffeld is. Dat kun je met de bestaande maatregelen niet herstellen. We hebben een aantal jaren magnesiumkalk gestrooid. Het probleem op droge heide is dat je daarmee een versnelde humificatie krijgt. In makkelijk uitspoelbare bodems raak je de nutriënten snel kwijt. Je hebt maar even een positief effect. Steenmeel wordt hier sinds anderhalf jaar experimenteel toegepast. Het is *slow release* materiaal waarvan je vandaag nog

geen resultaten kunt zien. Over steenmeel ben ik optimistisch. We hebben veel contact met de onderzoekers die dit experiment begeleiden: Bodem-Bergsma (mineralogie), B-ware (mineralogie en mycorrhiza) en Stichting Bargerveen (fauna).”

Waarom is de Strabrechtse Heide belangrijk?

“Deze heide is net zo belangrijk als de heides op de Veluwe en de Sallandse Heuvelrug. Elke hei in Nederland heeft zijn eigen *fingerprint*. Deze ligt in de Grote Slenk. Bijzonder aan de Strabrechtse Heide is dat er behoorlijk wat uitgeprobeerd is. Dat geeft een prachtig mozaïek van gradiënten. Op het droge deel komen veel natte plekken voor en op de natte hei zijn weer veel droge plekken. De bodem is zeer mineraalarm. Variatie ontstaat door droog en nat en de diversiteit in beheer. Als je een luchtfoto bekijkt zie je dat de Strabrechtse Heide een groot mozaïek is van gradiënten door hoogten, hellingen, laagtes en vennetjes. Op elke gradiënt vind je een gradiënt in vegetatie. Ook de schapenpadjes zorgen voor variatie. Het is een ratjetoe en dat maakt dit gebied zo interessant. Het mooiste vind ik het stukje rond de akkercomplexen waar je het heidecultuurlandschap in optima forma ziet.”

De doelstellingen voor de Natura 2000-habitattypen hier luiden ‘behoud van oppervlakte en kwaliteit’. Is er een herstelopgave?

“We weten wat we moeten beheren. Alle Natura 2000-doelstellingen zijn vertaald



in het beheerplan en daar acteren wij ook naar. Maar ik heb die doelen niet zomaar in mijn hoofd. De staat van instandhouding, dat zijn ambtenarenwoorden. In de praktijk heb ik er niet zoveel aan. Daar zitten vaak soorten bij die gerelateerd zijn aan goede kwaliteit hei. Dat is de Jac. P. Thijsseheide uit de jaren twintig van de vorige eeuw. Thijsse zocht de mooiste stukjes heide op. Die liggen nu onder maisakkers. Dat waren zwak gebufferde heiden en de boeren wilden juist daar boeren. Voor het natuurbeheer is alleen het armste van het armste overgebleven. Moeten we nu doelen gaan hanteren die gerelateerd zijn aan die hele goede heiden? Dat maakt het voor ons wel moeilijk.”

Ben je tevreden over de staat van de Strabrechtse Heide?

“Ja, maar dat is niet de staat van Natura 2000. Ik ben tevreden met wat ik heb, en dat probeer ik zoveel mogelijk te handhaven. En daarnaast probeer ik wat extra's te doen met mijn akkertjes. De stikstofdepositie is een groot probleem, maar de uitspoeling als gevolg van de verzuring door ammoniak is voor mij een nog veel groter probleem. Dat ondermijnt het hele systeem. De zwaveldepositie zijn we nu kwijt, maar de effecten van de zwavel zie ik nog elke dag. Ondanks al die problemen van stikstof, ammoniak en de erfenis van zwavel, vind ik de Strabrechtse Heide waardevol.”

Staatsbosbeheer wil beheerders verhalen laten vertellen. Wat doe jij?

“Ik heb de drang van een zendeling om een

verhaal te vertellen. Mijn verhaal draag ik uit in mijn heidebeheerboek, gemaakt samen met Jinze Noordijk. Daar zitten al mijn ervaringen als beheerder in. Staatsbosbeheer had me gevraagd om voor mijn pensioen mijn ervaringen op papier te zetten. Voor de Strabrechtse Heide heb ik heel recent een film uitgebracht die in de bioscoop is geweest. Ik ben nu bezig om een boek over het gebied te maken. Wij rijden in een cultuurlandschap van meer dan 5.000 jaar oud, waaraan de natuur zich keurig heeft aangepast. Het is door menshanden gemaakt. Dat kun je overal in onze heideterreinen terugvinden. Vroeger waren er door het boerengebruik oude en jonge hei. Bij de schaapskooi was de hei intensief begraasd en soms gemaaid omdat het maaisel nodig was voor in de schaapskooi. Verder weg van de kooi en van het dorp werd de hei minder intensief beheerd. Op luchtfoto's kan ik zo de schapendreven herkennen die door de herders eeuwenlang zijn gebruikt. Die gradiënt is zo belangrijk. Ik vind dat je veel geld mag stoppen in het behoud van dit gebied. Want dat doen ze met de Nachtwacht ook. Verzuring heeft deze Nachtwacht aangetast. Af en toe moet je dan een nieuwe vernislaag aanbrengen.”

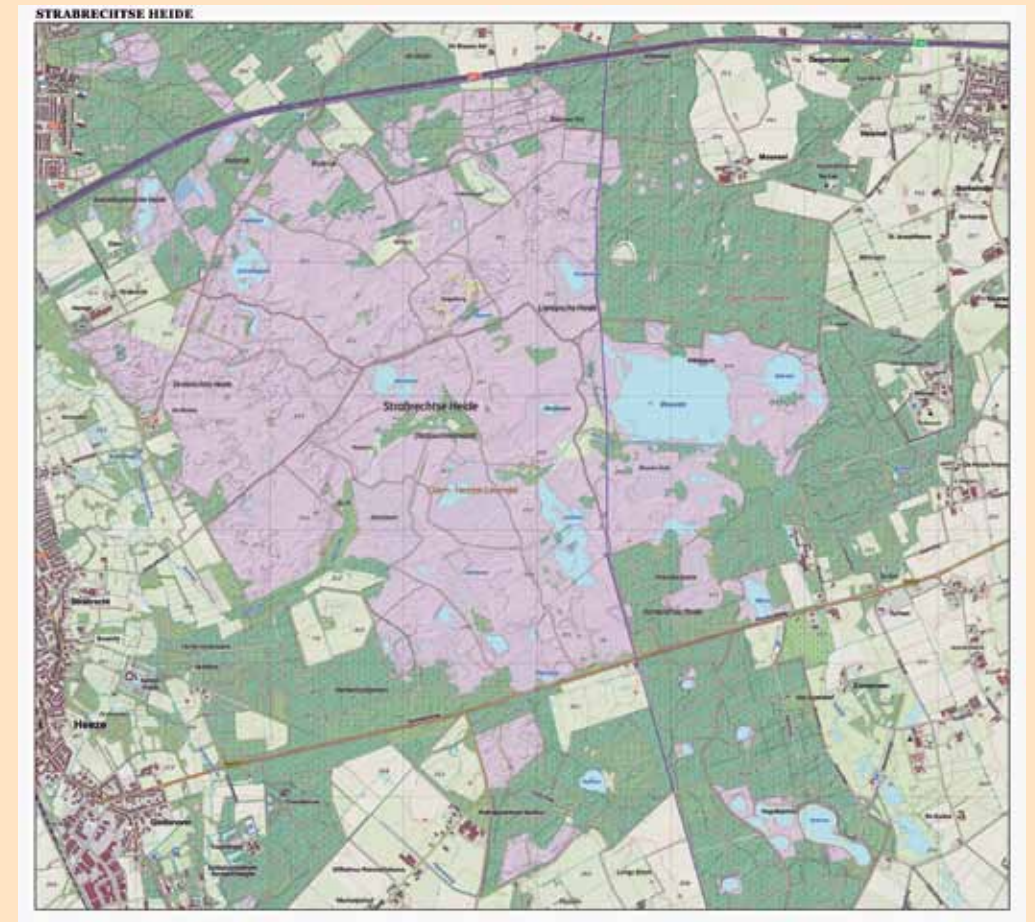
JOS DEKKER & MARK VAN VEEN

Literatuur

Jap Smits en Jinze Noordijk, 2016. Heidebeheer. KNNV-uitgeverij

De Strabrechtse Heide en stuifzanden

De Strabrechtse Heide ligt ten zuidoosten van Eindhoven. Het natuurgebied is 1.800 hectare groot. Een deel is droog zandlandschap, een deel nat zandlandschap. Staatsbosbeheer beheert 1.200 hectare, Brabants Landschap en de gemeente Someren de rest. De heide behoort tot het Natura 2000-gebied 'Strabrechtse Heide en Beuven'. Habitattypen van het droge zandlandschap zijn zandverstuivingen, stuifzandheide en droge heide. De doelen voor deze habitattypen zijn behoud van oppervlakte en kwaliteit. Jap Smits: “Het herstel van de stuifzanden is een succes. We moeten er wel wat voor doen. Door de stikstofdepositie groeit het stuifzand dicht. Een of twee keer per jaar moet de eg er doorheen. Door het eggen waait de humus eruit. Het zand gaat stuiven en belandt in de niet behandelde delen die daardoor gemineraliseerd worden. Stuifzand is een element dat bij de droge zandgronden hoort. Dit zijn de woeste gronden van vroeger. Ze zijn ontstaan door klimaatverandering, overbegrazing en boerengebruik. Karresporen leidden ook tot verstuiving. Stuifzanden zijn allesbehalve levenloos. Er leven hier bijzondere spinnen. De bijenwolf graaft zijn nest in fort in oude bodemprofielen met oude heidegrond er nog onder.”



Bestand: Strabrechtseheide-natuur-OpenTopo



Wat kunnen we doen, wat moeten we laten?

Herstel van het droog zandlandschap

De verzuring van het droog zandlandschap door stikstofdepositie van de afgelopen 70 jaar is equivalent aan wat van nature zou plaatsvinden gedurende 11.000 jaar. Behalve verzurend was deze depositie ook bemestend in een stikstof gelimiteerd ecosysteem. Voor herstel op landschapsschaal is het bodemtype maatgevend. In mineraalrijke bodems moet de rijkdom van mineralen worden hersteld, in mineraalarme bodems juist niet. Op basis van het principe de vervuiler betaalt zouden de hoge herstellkosten kunnen worden verhaald.

Het droog zandlandschap, vroeger ook wel aangeduid als woeste gronden, is een nutriëntenarm landschap, waarin echter wel duidelijke gradiënten in bodemsa-menstelling zijn (of waren) te onderscheiden, die de di-versiteit van flora en fauna bepalen. Vanaf het ontstaan zijn deze gronden door uitloging alleen maar armer geworden (Siebel & Bobbink, dit nummer). Dit proces treedt op en wordt versterkt door verzurende deposi-tie uit landbouw, industrie en verkeer, vooral door stik-stofverbindingen NOx en NHx, hierna aangeduid als N. Door menselijk toedoen is de aanvoer van zuurequi-valenten sinds de Tweede Wereldoorlog even groot als wat in de 11.000 jaar daarvoor door natuurlijke proces-sen is aangevoerd (Mol et al., 2003). Hierdoor zijn nu-triënten (zoals Ca en Mg) versneld uitgespoeld en bo-demmineralen sneller verweerd, waardoor de minera-lenvoorraad in de bovenste bodemlagen vrijwel is uit-geput (Bobbink et al., dit nummer), leidend tot tekorten van o.a. fosfaat. Bovendien zijn stelselmatig de relatief mineraalrijkste delen van het droog zandlandschap ont-gonnen. De resterende arme gronden werden bebost met grove den (*Pinus sylvestris*) of bleven behouden als paarse heide. Het is dus niet verwonderlijk dat de natuur in deze kleine deelverzameling van het vroegere brede spectrum van bodemdiversiteit niet meer beantwoord aan oude referentiebeelden (Siepel et al., 2009). De di-versiteit van kruiden in heideachtige vegetaties is sterk

achteruit gegaan (Bobbink et al., dit nummer). Ook de fauna wordt door N-depositie sterk negatief beïnvloed, niet alleen door verarming van de flora maar ook door een afnemende voedselkwaliteit en door vergrassing, beide als gevolg van de veranderde voedingstoestand van de bodem (Nijssen et al., 2017). Vergrassing leidt bo-vendien tot een gesloten vegetatie met een voor veel klei-ne dieren ongunstig microklimaat (Van den Burg et al., dit nummer). De centrale opgave is dus herstel van de voedingstoestand van de bodem door het weer beschik-baar maken van gradiënten in bodemvruchtbaarheid in een landschappelijke context. De kosten van herstel zou-den kunnen worden verhaald op de veroorzakers.

Verdwijnen van gradiënten

De voortdurende roofbouw van de woeste gronden door maaien en plaggen tot diep in de 19e eeuw werd gevolgd door een periode van verkoop en ontginning waarbij vooral de minst productieve terreindelen als natuur-gebied werden behouden. Deze ontwikkeling is goed te volgen aan de hand van de eerste kadastrale kaarten uit 1832 waarbij drie belastingklassen heide werden on-derscheiden. Klasse 1 lag op de relatief goede (lemige, vochthoudende) gronden met hogere opbrengsten, klas-se 3 op gronden vrijwel zonder opbrengsten waarvoor hetzelfde minimumtarief gold als voor zand. Bijlsma et al. (2013) laten zien dat op de Veluwe heideklassen 1 en 2

heideherstel
mineraalrijkdom
gradiënten
vervuiler betaalt

Prof. Dr. H. (Henk) Siepel
Radboud Universiteit
Nijmegen, Postbus 9010, 6500
GL Nijmegen
H.Siepel@science.ru.nl

Prof. Dr. A. (An) Cliquet
Universiteit Gent

**L.C. (Corné) Vreugdenhil
MSc**
Wageningen University &
Research

**Dr. Ir. R.J. (Rienk-Jan)
Bijlsma**
Wageningen Environmental
Research

Foto **Jerry van Dijk**, jerryvan-
dijk.com. Hulsthorsterzand,
buntgras in stuifzand.

code	omschrijving	ha 1900	% in 1900	ha 2013	% in 2013	2013 als % van 1900
W	moerige en venige gronden	9696	4	126	0	1
Z1	leemarme zandvaaggronden	23089	10	6994	22	30
Z3	lemige zandvaaggronden	1667	1	13	0	1
H1	leemarme humuspodzol-gronden en leemarme beek- en gooreerdgronden	157506	66	19700	61	13
H3	lemige humuspodzol-gronden en lemige beek- en gooreerdgronden	22591	9	650	2	3
Y	moderpodzolgronden	15985	7	4598	14	29
LK	leem- en oude kleigronden	812	0	118	0	15
EZ	gronden met cultuurdek	7057	3	132	0	2
som		238403	100	32331	100	14

Tabel 1 oppervlakte heide (of veen) in 1900 en 2013 per bodemcategorie in het droog zandlandschap. Voor gebruikte data en criteria raadpleeg de auteur.

	heide	bos	akker
Y	100	185	35
H1+Z1	100	159	28
H1	100	45	29
Y+EZ	100	262	691

Tabel 2 verhoudingen in 1900 tussen heide (op 100 gesteld), bos en ontgonnen bouwland op moder- (Y en Y+EZ) en humuspodzolen (H1+Z1 en H1).

Table 1 surface with heathland (or bogs) in 1900 and 2013 per soil type in dry sandy landscapes. For data and criteria used consult the author.

Table 2 ratios in 1900 between heathland (set at 100), forest and arable land on inceptisols (Y and Y+EZ) and spodosols (H1+Z1 and H1).

in vrijwel alle gevallen zijn ontgonnen tot bouwland of zijn bebost en dat de resterende heideterreinen overwegend tot klasse 3 behoorden.

Voor de hogere, droge zandgronden in Nederland is het heideareaal bepaald voor 1900 en 2013 per gegeneraliseerd bodemtype (tabel 1). In 2013 is nog slechts 14% van de heide uit 1900 over. Uit tabel 1 blijkt eveneens dat vooral de rijkere bodems zijn ontgonnen (lemige gronden en gronden met een cultuurdek: Z3, H3, LK en EZ). Overigens is ook voor 1900 al veel heide ontgonnen en bebost, maar dat is niet landsdekkend te kwantificeren.

In 1900 is de oppervlakte bos op moderpodzolgrond bijna twee maal zo groot als die van heide (tabel 2). Bovendien is een veel groter deel, bijna zeven maal zoveel, moderpodzolgronden ontgonnen (Y+EZ). Op de humuspodzolgronden liggen deze verhoudingen heel anders. Daar is ongeveer de helft van de humuspodzolen begroeid met bos en iets meer dan een kwart ontgonnen. Bovendien blijkt het bos op de humuspodzolen vooral te bestaan uit naalldhout (79%), terwijl dat percentage op de moderpodzolen aanmerkelijk lager ligt (56%). Deze trend van meer ontginning en bebossing van de mineraalrijke moderpodzolen versus de mineraalarme humuspodzolen is sindsdien versterkt doorgezet, o.a. in de werkverschaffingsprojecten in de crisisjaren van de vorige eeuw, resulterend in minder variatie van bodemtypen met heide.

Hoe deze gradiënten te herstellen?

Als reactie op de sterk toegenomen N-depositie vanaf de zestiger jaren van de vorige eeuw heeft het heidebeheer en -herstel zich in eerste instantie eenzijdig gericht op N als knelpunt. Diemont (1994) wees op de relatie tussen bodemtype en verzuringseffecten. N-depositie op leemarme humuspodzolgronden die P-gelimiteerd zijn, leidt

tot minder verzuring dan op de mineraalrijkere moderpodzolgronden, die vooral N-gelimiteerd zijn. Plaggen leidt in beide situaties tot verarming (zie kader) maar met een verschillend effect. Bij humuspodzolgronden treedt extreme verarming op doordat de nutriënten-arme uitspoelingshorizont aan het maaiveld komt. Bij moderpodzolgronden brengt plaggen echter een nieuwe laag verweerbare mineralen aan de oppervlakte (Bijlsma *et al.*, 2013). Maar op sterk verzuurde, leemarme, degraderende moderpodzolgronden werkt deze manier van bodemherstel niet meer (zie Bobbink *et al.*, dit nummer) en hier zullen dus herstelmaatregelen van de mineralen-voorraad moeten worden genomen om de gradiënten in bodemvruchtbaarheid te herstellen.

Herstel van de mineralenvoorraad

Of herstel van de mineralenvoorraad in het huidige heidelandschap mogelijk is, is nog onduidelijk. Experimenten in een door pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) vergraste heide op iets lemige, degraderende moderpodzolgronden zijn veelbelovend: de bodemfauna neemt sterk toe bij P toevoeging (Siepel *et al.*, ingediend), terwijl ook de vegetatiediversiteit toeneemt met veel heischrale plantensoorten (Vogels *et al.*, 2016). Het herstel bestaat uit een combinatie van plaggen, toevoegen van

zuurbufferende stoffen en herstel van de P-voorraad die immers vrijwel volledig wordt verwijderd met de geplagde organische toplaag. Dolokal als zuurbufferende stof werkt positief uit voor de vestiging van heischrale flora maar blijkt, door het vastleggen van P, negatieve effecten te hebben op de entomofauna. De effecten op langere termijn zijn nog niet bekend. Als alternatief wordt geëxperimenteerd met diverse soorten steenmeel. Vooral bioliet lijkt goede kansen te bieden, aangezien deze steenmeel een relatief hoog gehalte aan P bevat, en de extra P-gift daardoor beter in de tijd kan worden gedoseerd. Deze herstelmaatregel kan slechts eenmalig worden uitgevoerd en alleen als de antropogene N-depositie geminimaliseerd is. Opheffen van de huidige P-limitatie (bij een continue N-beschikbaarheid) kan leiden tot een nieuwe dominantie van pijpenstrootje of zelfs een veruiging van de vegetatie met soorten uit rijkere milieus. Stoppen van de N-depositie is een conditio sine qua non voor het herstel van de mineraalrijke heidevegetaties, inclusief heischrale graslanden en kruidenrijke heide.

Herstel op landschapsschaal

Met het herstel van de voor degradatie gevoelige moderpodzolgronden, zoals hierboven betoogd, zijn we er echter nog niet. Naast deze relatief mineraalrijke bodems

Verloren gegane kennis?

Ondanks de niet mis te verstane waarschuwingen over de “bodenräuberische Natur des Plaggenhiebs und seine überaus schädliche Wirkung” is het “im äußersten Maße verderbliche” heideplaggen (Graebner 1904; 1925) in de jaren tachtig van de vorige eeuw teruggekeerd als beheervorm en zelfs als herstelmaatregel. Ook voor het maaien van heide is gewaarschuwd: “Het maaien en afvoeren van de heide is als verjongingsmethode niet aan te bevelen. In feite oogst men zonder dat men voor het ontnomene op de juiste wijze iets kan teruggeven. Het geregeld maaien degenereert de heide dan ook” (Mörzer Bruijns, 1953).

zijn er nog vele tienduizenden hectares heide op humuspodzolgronden in wisselende staat van instandhouding. Deze heide is het best gediend met langdurige spontane ontwikkeling en extensieve begrazing. Onder niet sterk vergraste heide ontwikkelt zich dan een humusprofiel met een karakteristieke, schoensmeerachtige H-laag. Het humusprofiel als geheel fungeert als nutriëntenbuffer en de H-laag draagt sterk bij aan een steeds groter wordende vochtbeschikbaarheid, zelfs in die mate dat vestiging en uitbreiding van soorten van vochtige heide optreedt, zoals veenbies (*Trichophorum cespitosum*) en blauwe zegge (*Carex panicea*) en een hoog aandeel dophei (*Erica tetralix*) ontstaat (Bijlsma et al., 2013). In de aanwezigheid van een dik humusprofiel kunnen uiteenvalende pollen van struikhei (*Calluna vulgaris*) door afleggers vegetatief regenereren wat verder bijdraagt aan een gevarieerde heidestructuur. In door pijpenstrootje gedomineerde droge heide op humuspodzolgronden kunnen blauwe (*Vaccinium myrtillus*) en rode bosbes (*Vaccinium vitis-idaea*) zich vestigen en, onder invloed van begrazing, een ontwikkeling in gang zetten naar bosbesheide (Bijlsma et al., 2013). Anders dan op de mineraalrijkere heide met kruiden en een dun humusprofiel hebben heideachtige soorten in de mineraalarme heide met een dik humusprofiel een concurrentievoordeel dankzij hun ericoïde mycorrhiza.

De meest effectieve en duurzame maatregel voor heideherstel is de ‘ont-ontginning’ van mineraalrijke gronden door natuurontwikkeling op landbouwgronden te stimuleren en door omvorming van naaldbos op moderpodzolgronden naar loofbos en heidelandschap. Deze mineraalrijkere gronden moeten weer onderdeel worden van het bos- en heidelandschap, zodat een deel van de vroegere biodiversiteit kan worden hersteld (Siepel et al., 2009; Bijlsma et al., 2012; Nijssen & Vogels, 2014). Het plan voor herstel van de Manderheide in Noord-Twente

is een goed voorbeeld (Bijlsma et al., 2016). Om de huidige circa 50 hectare, vooral op humuspodzolgronden van de morenevlakte gelegen, droge heide duurzaam te herstellen wordt voorgesteld ongeveer 80 hectare bos om te vormen naar heidelandschap, waarmee mineraalrijke(re) gronden in de moreneglooiing en de tertiaire kleien in de stuwwalflank weer onderdeel worden van een aaneengesloten, integraal begraasd, heidelandschap. Tegelijkertijd wordt ruim zeven hectare aan extensieve roggeakkers opgenomen, alsook eikenbos-sages.

Herstelkosten en de vervuiler betaalt

Wat zouden, bij wijze van gedachte-experiment, de kosten zijn van eenmalig herstel van de door uitloging gedegradeerde moderpodzolgronden (bodemcode Y21, Y30) onder heide in het droog zandlandschap? Het gaat hierbij om circa 4.500 ha (tabel 1) voornamelijk gelegen op de stuwwallen van Midden-Nederland en de terrassen van Noord- en Midden-Limburg. De kosten voor plaggen, bekalken en toevoegen van P (als superfosfaat) zijn ongeveer $4050 + 150 + 400 = 4600$ €/ha. De totale kosten komen daarmee op ruim 20 miljoen euro voor alleen het herstel van de mineraalrijkere heidevegetaties.

Voor de doorberekening van boven geschetste kosten moet bekend zijn wie deze heeft veroorzaakt. De herkomst is divers, maar de landbouw heeft met circa 50% van de N-depositie het grootste aandeel in de verzuring van het droog zandlandschap (CBS et al., 2015). Depositie uit het buitenland, ook grotendeels afkomstig uit de landbouw, is een goede tweede.

Het principe ‘de vervuiler betaalt’ zou gebruikt kunnen worden om de herstelkosten te verhalen. De OESO ontwikkelde dat principe in de 70’er jaren van de vorige eeuw en sindsdien is het in internationale verdragen en ook de EU-wetgeving opgenomen. De vervuiler betaalt



Foto Jerry van Dijk, jerryvandijk.com. Leersumseveld.

houdt in dat: “de vervuiler de kosten moet dragen van het voorkomen van vervuiling en van controlemaatregelen vastgesteld door het bevoegd gezag, om een acceptabele staat van het milieu te garanderen” (OESO, 1972). Bij natuurherstel zou een mogelijke variant daarop kunnen zijn: de veroorzaker betaalt. Dus als een entiteit (bijvoorbeeld een landbouwbedrijf) een bepaalde intensieve activiteit onderneemt en als gevolg daarvan is er schade aan de natuur, dan moet deze entiteit instaan voor de herstelkosten (Telesetsky et al., 2017). Deze

‘curatieve’ invulling heeft concreet vorm gekregen in de Richtlijn milieuaansprakelijkheid van de Europese Unie (Richtlijn 2004/35/EG). De toepassing van deze richtlijn kent een aantal beperkingen: (1) er moet een bepaalde drempelwaarde overschreden worden wil er sprake van milieuschade zijn, (2) de richtlijn is enkel van toepassing op schade aan beschermde soorten en natuurlijke habitats, aan wateren en bodem en (3) bij diffuse verontreinigingen moet een oorzakelijk verband kunnen worden gelegd tussen de schade en de activiteiten van individue-

le exploitanten. De richtlijn is voorts niet van toepassing op schade veroorzaakt voor 30 april 2007. De toepassing is tot dusver beperkt gebleven (Vogleman, 2015).

Conclusie

Natuurherstel in het droog zandlandschap is zeker mogelijk maar een veel moeilijker opgave dan in het nat zandlandschap waar direct op systeemniveau kan worden gereguleerd, bijvoorbeeld door aanpassing van de waterhuishouding. De uitstoot van N door vooral de landbouw zal moeten stoppen. Technisch is dit mogelijk door luchtwasinstallaties in stallen te installeren, mest industrieel te verwerken en als korrels toe te dienen. De 70’er en 80’er jaren van de vorige eeuw hebben laten zien dat water- en luchtvervuiling door de industrie was te stoppen; de komende jaren kunnen worden gebruikt om de vervuiling uit de landbouw te stoppen. Niet plaggen op mineraalarme bodems. Bij een begrazingsstelsel zal hier uiteindelijk een heide/bosbesheide gaan ontstaan. Wat we wel moeten doen is het weer in natuur brengen van de mineraalrijke gronden. De rekening voor de herstelkosten zou in principe op de veroor-

zakers verhaald kunnen worden. Het is vervolgens aan de overheid om deze kosten voor de diverse groepen veruilers al dan niet te voldoen, of door te laten berekenen. Vrijblijvend is dit echter niet, want ook voor herstel van ecosystemen zijn internationale afspraken gemaakt, om nog maar te zwijgen van de verplichtingen om de natuur in Natura 2000-gebieden in een gunstige staat van instandhouding te houden of te krijgen. Ten slotte zullen de herstelwerkzaamheden met beleid moeten worden uitgevoerd, zodat restpopulaties de kans krijgen zich te ontwikkelen. Waar deze niet meer voorkomen, zal moeten worden onderzocht of herintroducties vanuit vergelijkbare locaties zijn te realiseren. Er is nog een lange weg te gaan voor we weer kunnen uitkijken over een kruiden-, insecten- en vogelrijke heide.

Summary

Restoration of dry sandy landscapes, do’s and don’ts
Henk Siepel, An Cliquet, Corné Vreugdenhil & Rien-Jan Bijlsma
heathland restoration, mineral richness, gradients, degraders pays principle

Dry sandy landscapes have suffered from man-induced acidification during the past 70 years, equivalent in effect to natural acidification over a period of 11.000 years, causing leaching of nutrients. Next to acidification, the

N deposition leads also to eutrophication in an ecosystem which is N limited. For restoration at the landscape scale, the soil type is determining: in original mineral rich soils, the deleterious effects of leaching have to be compensated by adding minerals (rockflour) and P, removed with the sods to get rid of the excess of N, should be supplemented. The restoration costs can be paid by the parties responsible for the acidification and eutrophication with reference to the degrader pays principle.

Literatuur

Bijlsma, R.J., J. Sevink & R.W. de Waal. 2012. Herstelstrategieën Deel III: Landschapsecologische inbedding van de herstelstrategieën. Droog zandlandschap. pas.natura2000.nl/pages/herstelstrategieen-deel_iii.aspx

Bijlsma, R.J., R.W. de Waal & A.F.M. ten Hoedt, 2013. Ecological qualities emerging from non-intervention management of heathlands. In W.H. Diemont, H. Siepel & N.R. Webb (eds.). Economy and ecology of heathlands. Zeist, KNNV Publishing, Chapter 12: 229-258.

Bijlsma, R.J., K. Bevaart, W.H.J.M. Geraedts & R.W. de Waal. 2016. Van heidebebossing naar heidelandschap; Onderzoek naar herstel van de Noordelijke Manderheide (Natura 2000-gebied Springendal & Dal van de Mosbeek). Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2759.

Bobbink, R., H.L.T. Bergsma, J. den Ouden & M.J. Weijters, 2017. Na het zuur geen zoet? Bodemverzuring in droog zandlandschap blijvend probleem. Landschap 34/2: 61-69.

Burg, A. van der & J. Vogels, 2017. Zuur voor de fauna. Soorten bos en hei missen essentiële voedingsstoffen. Landschap 34/2: 71-79.

CBS, PBL & Wageningen UR, 2015. Vermestende depositie, 1990-2014 (indicator 0189, versie 14, 9 oktober 2015). www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. Den Haag/Bilthoven/Wageningen. CBS/Planbureau voor de Leefomgeving/Wageningen UR.

Diemont, W.H., 1994. Effects of removal of organic matter on the productivity of heathlands. Journal of Vegetation Science 5: 409-414.

Graebner, P., 1904. Handbuch der Heidekultur. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann.

Graebner, P., 1925. Die Heide Norddeutschlands und die sich anschließenden Formationen in biologischer Betrachtung. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann.

Mol, G., S.P. Vriend & P.F.M. van Gaans, 2003. Feldspar weathering as the key to understanding soil acidification monitoring data; a study of acid sandy soils in the Netherlands. Chemical Ecology 202: 417-441.

Mörzer Bruijns, M.F., 1953. Enige richtlijnen voor het beheer van heideterreinen. In De Studiekring voor de Veluwe. Heeft onze heide nog toekomst? Arnhem: 47-55.

Nijssen, M.E. & J.J. Vogels, 2014. Heidelandschap in ontwikkeling. OBN Deskundigenteam Droog zandlandschap. Zeist. KNNV Publishing.

Nijssen, M.E., M.F. Wallis de Vries & H. Siepel, in druk. Pathways for effects of increased nitrogen deposition on fauna. Biological Conservation.

OESO, 1972. Recommendation on Guiding Principles Concerning International Economic Aspects of Environmental Policies, C(72)128.

Richtlijn 2004/35/EG van het Europees Parlement en de Raad van 21 april 2004 Betreffende milieuaansprakelijkheid met betrekking tot het voorkomen en herstellen van milieuschade PB L 143, 30.4.2004.

Siebel, H.N. & R. Bobbink, 2017. OBN en het droog zandlandschap. Landschap 34/2: 57-59.

Siepel, H., H. Siebel, Th.J. Verstrael, A.B. van den Burg & J.J. Vogels, 2009. Herstel van lange termijn effecten van verzuring en vermessing in het droog zandlandschap. De Levende Natuur 110: 124-129.

Siepel, H., J. Vogels, R. Bobbink, R.J. Bijlsma, E. Jongejans, R. de Waal & M. Weijters, ingediend. Continuous and cumulative acidification and N deposition induce P limitation for the micro-arthropod soil fauna on mineral-poor dry heathlands.

Telesetsky, A., A. Cliquet & A. Akhtar-Khavari, 2017. Ecological Restoration in International Environmental Law, Routledge, 318 pp.

Vogels, J., M. Weijters, R.J. Bijlsma, R. de Waal, R. Bobbink & H. Siepel, 2016. Fosfaattoevoeging heide. VBNE. Rapport 2016/OBN207-DZ, Driebergen.

Vogleman, V., 2015. The threshold for liability for ecological damage in the EU. In C.-H. Born, A. Cliquet, H. Schoukens, D. Misonne & G. Van Hoorick (eds.). The Habitats Directive in its EU Environmental Law Context: European Nature’s Best Hope? Routledge, 181-214.



Hoe nu verder met het droog zandlandschap?

Met de nog altijd te hoge stikstofbelasting en het vooralsnog ontbreken van een effectief brongericht beleid wordt het voor behoud en ontwikkeling van de natuur in het droog zandlandschap alleen maar urgenter om effectieve herstelmaatregelen te nemen. Wat is het perspectief van dergelijke maatregelen? Wat zijn urgente onderzoeksvragen? En schept het Nederlandse natuurbeleid goede kaders voor herstel?

Het OBN-onderzoek in het droog zandlandschap heeft zich sinds begin van deze eeuw gericht op de vermes-
tende en verzurende invloed van stikstof (N). Voor hei-
desystemen is dit effect inmiddels goed bekend (Vogels
et al., 2011); eenzelfde mechanisme lijkt zich voor te doen
in het hele zandlandschap. Met de toenemende kennis
van de achterliggende processen wordt duidelijk dat het
hele ecosysteem op verschillende manieren negatief
wordt beïnvloed, maar ook dat er geen simpele effectie-
ve maatregelen zijn om de negatieve effecten duurzaam
te verminderen, laat staan definitief weg te nemen. De
abiotische omstandigheden zijn immers volstrekt niet
op orde (Bobbink *et al.*, dit nummer) en zullen dat op
korte termijn ook zeker niet zijn. Ook al neemt de stik-
stofbelasting niet meer toe, het ecosysteem heeft zoveel
stikstof opgeslagen dat er hoe dan ook nog jaren inten-
sief beheerd zal moeten worden om de negatieve effec-
ten van de al aanwezige stikstoflast te beperken of te
neutraliseren.

Het Programma Aanpak Stikstof, het beleidsinstrument
dat is bedoeld om én natuurwaarden te redden én de eco-
nomie ontwikkelruimte te geven, lijkt in zijn uitgangs-
punten al op gespannen voet te staan met wat er écht
moet gebeuren. Vanuit de natuur geredeneerd is er sim-
pelweg geen ruimte meer voor meer stikstofuitstoot zo-
lang er geen effectieve maatregelen zijn om de negatie-
ve ontwikkelingen in de natuur te kunnen stoppen. Tot
het moment dat die uitstoot daadwerkelijk duurzaam zal
afnemen is het van belang maatregelen te nemen om te
redden wat er te redden valt.

Maatregelen op landschapsschaal

Landschapsvormende processen als grootschalige ver-
stuivingen en een rotatie in ruimte en tijd van ontwik-
kelingsfasen zijn in Nederland helaas vrijwel onmoge-
lijk geworden; de benodigde schaal valt niet te combi-
neren met overig menselijk gebruik van dit landschap.
Veel gebieden liggen bovendien als eilanden in het gro-
tere, vooral agrarisch gebruikte landschap en ondervin-
den grote invloed van externe ontwikkelingen als voort-
gaande vermesting en verzuring. Generieke ruimtelijke
maatregelen op landschapsniveau die de sterke versnip-
pering mitigeren dan wel leiden tot een fijner ruimte-
lijk mozaïek van heiden, zandverstuivingen, bossen,
akkers en matig voedselarme flora- en faunarijke gras-
landen zijn in ieder geval nuttig. Oplossingen die terug-
grijpen op grootschalige natuurlijke processen zijn on-
realistisch.

Maatregelen op ecosysteemniveau

Alles wijst er op dat eerst het herstel van de bodempro-
cessen duurzaam moet worden gerealiseerd gedurende
ten minste een lange reeks van decennia, rekening hou-
dend met de verschillen in bodemsamenstelling. Daarbij
komt een belangrijk dilemma naar boven: het Europese
natuurbeschermingsbeleid (Natura 2000) is sterk loca-
tiegericht en vastgelegd in doeltypen, behoud- en her-
stelopgaven (Barendregt & Siepel, 2015). Noodzakelijke
herstelmaatregelen betekenen echter een grote veran-
dering in de (a)biotische omstandigheden op locaties.
De overmaat aan stikstof kan worden verwijderd door

Drs. T.J. (Theo) Verstrael
Sovon Vogelonderzoek
Nederland, Toernooiveld 1,
6525 ED Nijmegen
theo.verstrael@sovon.nl

Dr. H.N. (Henk) Siebel
Vereniging Natuur-
monumenten, 's-Graveland

Ing. I. (Ido) Borkent
Bosland Adviesbureau, Slijk-
Ewijk

Foto **Theo Verstrael** Rheder-
heide, Nationaal Park
Veluwezoom.



de vegetatie in successie geheel terug te zetten. Daarna kan door aanvulling van mineralen weer een gunstige beginsituatie worden gecreëerd. Bij het terugzetten van de successie is een groot risico dat door de aanhoudend hoge stokstofdepositie het ecosysteem weer snel in een vergelijkbare onbalans terecht komt (Vogels *et al.*, 2011). Deze strategie intensief inzetten is bovendien kostbaar en betekent ook dat er nauwelijks meer oude stadia met de bijbehorende soorten aanwezig zullen zijn, zoals dit eerder al gebleken is bij het frequent plaggen op heide (Vogels *et al.*, 2011). De schaal waarop deze maatregel kan worden ingezet zal daarom beperkt zijn. Om deze reden is een andere mogelijkheid de successie juist niet terug te zetten, maar wel het ontstane gebrek aan mineralen aan te vullen (Siepel *et al.*, dit nummer). Dit betekent geen terugkeer naar voedselarmere ecosystemen zoals wel vaak gewenst is om het ter plaatse gewenste natuurbeheertype te realiseren. Het herstellen van de mineralenbalans zonder de successie terug

te zetten is de belangrijkste onderzoeksopgave in het droog zandlandschap, te beginnen in bossen en heidegebieden. *Slow release* door toediening van steenmeel biedt wellicht perspectief, al dan niet in combinatie met het actief terugbrengen van soorten en een extensieve begrazing (Kirkpatrick & De Blust, 2013). Siepel (mondelinge mededeling) constateert bijvoorbeeld een sterk herstel van microarthropoden na P-toevoeging aan arme heidebodems. Tegelijk dreigt bij te snelle verrijking een dominantie van concurrentiekrachtige soorten als pijpenstrootje (*Molinia caerulea*). Een extra probleem vormt de nog weinig begrepen ecologische rol van ericoïde- en ectomycorrhiza's en andere schimmels. De beschikbare onderzoeksbudgetten binnen OBN zijn niet toereikend om die belangrijke component in het ecologisch functioneren op landschapsschaal goed te onderzoeken. In droge bossen zal het onderzoek naar effectieve maatregelen voor het herstel van de voedselkwaliteit prioriteit hebben, te beginnen bij het herstel van de bodemabiotiek. Om een en ander niet nog verder in onbalans te laten gaan lijkt het raadzaam in droge bossen minder oogst van hout en biomassa na te streven en meer dood hout te genereren (De Keersmaeker *et al.*, 2017), wellicht in een combinatie met meer bijmenging van loofhoutsoorten. Op die manier worden niet nog meer nutriënten uit het ecosysteem verwijderd.

Verder is onderzoek van belang naar de schaars geworden heide op oude heidebodems en naar de mogelijkheden bij de huidige hoge stikstofbelasting voor hun behoud in een mozaïek met anders beheerde heide. Op diverse plekken zijn deze oude stadia nog te vinden, maar de kennis over de abiotiek is nog gering. Het is waarschijnlijk dat in de humuslaag een grote hoeveelheid stikstof is gebonden. Gaat dat op afzienbare termijn voor het ecosysteem beschikbaar komen, met alle gevolgen van dien? Of kan die 'stikstofbom' geïmmobili-

seerd gehouden worden? Ook aan dat onderwerp zal het deskundigenteam de komende jaren aandacht besteden.

Maatregelen op soortniveau

Een aantal nieuwe ontwikkelingen in het droog zandlandschap lijken de problemen verder te vergroten. In veel gebieden nemen het aantal en de diversiteit van grote grazers toe, al dan niet bewust nagestreefd in het kader van natuurbeheer. Op de Maashorst en de Veluwe worden bijvoorbeeld wisenten uitgezet en in diverse provincies buiten Gelderland nemen edelherten en wilde zwijnen in aantal en verspreiding toe. Vanuit de gedachte van meer natuurlijke processen is dit te begrijpen en ook voor de beleving en dus de recreatie (inkomsten voor natuurbeheer) kan het goed uitwerken. Maar in het droge bos waar natuurlijke verjonging van de vegetatie al sterk onder druk staat, is het zeer de vraag of de extra vraat het herstel van biodiversiteit zal toelaten. De kans is immers groot dat bij weinig voedselkeuze en een onbalans in voedingsmineralen zeer selectief de plantensoorten worden weggegeten met de meeste voedingswaarde. Het is ook de vraag of begrazing in grotere landschappelijke gradiënten juist voor mineralen-

transport kan zorgen van rijkere gronden naar de verzuurde zandgronden. Dat bij (her-)introductieprojecten dergelijke vragen nauwelijks worden gesteld maar er wel veel aandacht uit gaat naar beleving, verkeersveiligheid en faunabeheer is symptomatisch voor het denken over oplossingsrichtingen in dit landschap.

Oplossingen alleen op lange termijn

Het moge duidelijk zijn dat de problemen voor landschap, flora en fauna in het droog zandlandschap groot zijn. Het uitgevoerde onderzoek naar ecologische processen en herstelmaatregelen is van grote waarde omdat het de inzichten in de aard en omvang van de problematiek sterk heeft vergroot. Tegelijkertijd is de frustrerende conclusie dat de perspectieven voor duurzaam herstel op de korte termijn slecht zijn. Alleen een drastische keuze voor het structureel aanpakken van de bron van de problemen, gecombineerd met op kennis gebaseerde maatregelen op verschillende ruimtelijke schaal kan soelaas bieden. Bovenal heeft het droog zandlandschap behoefte aan tijd, veel tijd om te kunnen herstellen van alle door de mens toegebrachte veranderingen. En dat is misschien wel de meest verontrustende conclusie.

Literatuur

Barendregt, A. & H. Siepel, 2015. Rigid nature policy and fixation in landscape ecological processes. In: L. Halada, A. Baca & M. Boltizlar (eds). Proceedings of the 17th International Symposium on Landscape Ecology.

Bobbink, R., H.L.T. Bergsma, J. den Ouden & M.J. Weijters, 2017. Na het zuur geen zoet? Bodemverzuring in droog zandlandschap blijvend probleem. Landschap 34/2: 61-69.

De Keersmaeker, L., H. Cosyns, A. Thomaes & K. Vandekerckhove, 2017. Kan houtoogst stikstofdepositie mitigeren? Landschap 2017/1: 5-12.

Kirkpatrick, A.H. & G. De Blust, 2013. Grazing and its impact on productivity and biodiversity in heathlands. In: W.H. Diemont, W.J.M.

Heijman, H. Siepel & N.R. Webb (eds). Economy and ecology of heathlands. Zeist. KNNV Uitgeverij: 203-227.

Siepel, H., A. Cliquet, C. Vreugdenhil & R.J. Bijlsma, 2017. Wat kunnen we doen, wat moeten we laten? Herstel van het droog zandlandschap. Landschap 34/2: 87-93.

Vogels, J.J., A. van den Burg, E. Remke & H. Siepel, 2011. Effectgerichte maatregelen voor het herstel en beheer van faunage-meenschappen van heideterreinen. Driebergen. OBN rapport nr. 2011/OBN152-DZ.

Grenzen natuurherstel in zicht

Externe review OBN-onderzoek droog zandlandschap

De dramatische effecten van de extreem hoge stikstofdepositie in het droog zandlandschap zijn versterkt door eenzijdige, lokale herstelmaatregelen, waarbij niet alleen stikstof, maar ook veel andere voedingsstoffen zijn afgevoerd. Dat is een van de nieuwe inzichten die de landschapsbenadering van OBN heeft opgeleverd. Een fundamentele heroriëntatie op een toekomstige strategie voor natuurherstel lijkt onvermijdelijk.

Prof. Dr. F. (Frank) Berendse
Nature Conservation and
Plant Ecology, Wageningen
University.
Post naar: Thijsselaan 65,
6705 AM Wageningen
frank.berendse@kpnmail.nl

Na het lezen van een dertiental rapporten is het duidelijk dat binnen het Deskundigenteam Droog zandlandschap de afgelopen acht jaar een geweldige hoeveelheid werk is verricht. De nauwe samenwerking tussen beheerders en onderzoekers heeft resultaten opgeleverd die het inzicht in de mogelijkheden en onmogelijkheden van natuurherstel aanzienlijk hebben verdiept. De nieuwe inzichten zijn breed verspreid in de vorm van drie mooie en voor de beheerder zeer bruikbare brochures over voedselarme bossen, heiden en stuifzanden. Het valt wel op dat de wetenschappelijke productie in de loop van de geschiedenis van het OBN aanzienlijk is afgenomen. Dit is vermoedelijk toe te schrijven aan de omvangrijke budgetkortingen die hebben plaatsgevonden op het moment dat de financiering van het rijk naar de provincies overging waardoor steeds vaker relatief korte projecten worden uitgezet. Deze ontwikkeling zal uiteindelijk gevolgen hebben voor de innovatiekracht van het programma. De huidige koers kan uiteindelijk leiden tot het wegvallen van mogelijke cofinanciering vanuit EU-programma's, waardoor in de toekomst nog minder geld beschikbaar zal zijn. Een belangrijke stap in de geschiedenis van het onderzoeksprogramma is dat het laatste decennium de smalle vegetatie-ecologische benadering sterk is verbreed naar andere groepen organismen die van minstens zo groot belang zijn. Er is ruime aandacht gegeven aan insecten,

vogels en paddenstoelen. Dat heeft tot veel nieuwe inzichten geleid. Het uitgebreide en diepgaande overzicht van de mycologische natuurwaarden onderstreept de grote betekenis van oude bosgebieden waar lange tijd geen beheer is uitgevoerd. Eveneens van grote betekenis is een aantal resultaten dat het fauna-onderzoek heeft opgeleverd.

N-depositie onverminderd hoog

De oorspronkelijke basisgedachte van het toenmalige Overlevingsplan Bos en Natuur was om de negatieve effecten van milieuverontreiniging via extra beheer- en herstelmaatregelen te compenseren als overbrugging naar het moment dat die verontreiniging voldoende was teruggebracht. Een belangrijke complicatie is echter dat de verontreiniging door de landbouw de laatste decennia geen duidelijke verbetering laat zien. Hoewel Wageningse modellen suggereren dat de emissie van ammoniak sinds 1990 met ruim 70% is afgenomen, laten de onafhankelijke meetresultaten van het RIVM zien dat de ammoniakconcentraties in de atmosfeer niet zijn gedaald (Berendse, 2016). Bobbink *et al.* (dit nummer) tonen aan hoe desastreus de effecten van de nog steeds extreem hoge N-depositie op onze zandgronden zijn, niet alleen door de verrijking met stikstofverbindingen, maar vooral door verzuring van de bodem en de verminderde beschikbaarheid van

fosfaat en basische kationen die voor plant en dier belangrijk zijn.

De wrange vruchten van plaggen

In het recente verleden waren herstelmaatregelen in de heide voor het overgrote deel bedoeld om de vergrassing met pijpenstrootje en bochtige smele terug te dringen vanuit het idee dat een aantal bijzondere heidesoorten dan wel zou terugkeren. Er werd vooral breed ingezet op het afplaggen van vergraste heide om op die manier het teveel aan stikstof af te voeren. Het terugdringen van de vergrassing is inmiddels behoorlijk succesvol geweest, maar er is een landschap ontstaan dat niet zozeer veel armer aan stikstof is – dit element wordt dagelijks via de neerslag aangevuld – maar vooral deficiënt is aan een groot aantal andere, essentiële voedingsstoffen zoals fosfor, kalium, magnesium en calcium. Ook deze voedingsstoffen zijn in grote hoeveelheden afgevoerd of uitgespoeld als gevolg van verzuring van de bodem. Steeds meer onderzoekresultaten wijzen er op dat een toenemende disbalans tussen stikstof en andere voedingsstoffen niet alleen negatieve effecten heeft op het herstel van veel bijzondere plantensoorten, maar dat ook insecten en andere diergroepen hier ernstig onder lijden. Veldonderzoek laat een duidelijke correlatie zien tussen het P-gehalte in plantenmateriaal en de hoeveelheid vliegen, muggen en loopkevers, terwijl experimenten met veldkrekels tonen dat hoge N/P-verhoudingen in het plantenmateriaal de reproductie aanzienlijk reduceren (Van den Burg & Vogels, dit nummer). Ook voor roofvogels, zoals de sperwer, zijn er aanwijzingen dat de aminozuurtekorten, die ontstaan bij lage P-gehaltes, belangrijke negatieve effecten hebben. Deze eerste onderzoeksresultaten zijn zeer verontrustend en er is dus nog veel werk te doen. Symptomatisch is de suggestie in het onderzoekspro-

gramma om de gesignaleerde problemen te lijf te gaan door na afplaggen chemicaliën toe te voegen, zoals kalk of steenmeel. De grote problemen, ontstaan door eenzijdige, lokale herstelmaatregelen, probeert men op te lossen door andere maatregelen die even eenzijdig en lokaal zijn en nooit op landschapsschaal de geschetste ontwikkeling kunnen keren. Tegelijkertijd worden landbouwgronden die aan het agrarisch gebruik zijn onttrokken, nog steeds grootschalig afgegraven waardoor de nutriëntendeficiëntie in het landschap verder wordt versterkt. Gelukkig is de brochure over het heidelandschap die het programma uitbracht veel minder eenzijdig. Hierin wordt duidelijk gepleit voor het behoud van nutriëntenrijke hotspots in het heidelandschap en de stimulering van gradiënten van de voedselarme hei naar voedselrijke plekken zoals akkers. De omvorming van relatief mineraalrijke gronden, in het verleden als eerste ontgonnen of met bos beplant, zou een aanzienlijke verrijking van het heidelandschap kunnen zijn, zoals door Siepel *et al.* (dit nummer) gesuggereerd.

Nog veel vragen

Als we van enige afstand het onderzoeksprogramma vergelijken met de huidige problematiek van het droog zandlandschap valt vooral op dat er nog zoveel vragen onbeantwoord zijn. Waarom zijn nachtzwaluw, boomleeuwerik en roodborsttapuit zo sterk toegenomen, terwijl klapetekster, duinpieper, korhoen, draaihals, kuifmees en zwarte mees zijn afgenomen of vrijwel verdwenen? De eerste groep profiteert wellicht van de vele heideherstelmaatregelen, maar waarom profiteert de duinpieper niet van het stuifzandherstel? Wat is het effect van klimaatverandering en welke effecten heeft de sterk toegenomen recreatie? Vooral dat laatste aspect schittert door afwezigheid binnen het onderzoeksprogramma.

Waarom is een vermindering van de recreatiedruk niet opgenomen als mogelijke herstelmaatregel? Omdat recreatie veel minder belangrijk is dan voedsel als sleutelfactor voor veel diergroepen? Dat kan zijn, maar we weten op dit moment onvoldoende om die conclusie te rechtvaardigen. Uit onderzoek van Bijlsma (2006) blijkt dat op de hogere zandgronden de recreatiedruk met meer dan een factor 30 is toegenomen en dat er duidelijke negatieve effecten zijn op een aantal grondbroedende vogelsoorten.

Landbouwverontreiniging terugdringen

Er is echter een veel fundamenteeler probleem, dat met het nieuwe Programma Aanpak Stikstof (PAS) op scherp is gezet. Het PAS claimt ruimte voor verdere uitbreiding van agrarische bedrijven, wanneer er maar

voldoende in natuurherstelmaatregelen wordt geïnvesteerd. Die ruimte is gelijk aan de helft van de daling in stikstofdepositie zoals deze door de Wageningse instituten berekend is en die volgens onafhankelijke metingen helemaal niet aanwezig blijkt te zijn. De allereerste opgave zal zijn om de dramatische effecten van de huidige landbouw tot aanvaardbare proporties terug te brengen (Berendse, 2017). De grote vraag is of de overheid van onderzoekers en beheerders mag verwachten een oplossing via herstelmaatregelen te vinden die er naar alle waarschijnlijkheid niet is en zeker niet duurzaam zal zijn. De herstelmaatregelen zoals ontwikkeld door OBN, mogen in geen geval een verder uitstel van de fundamentele en dringend noodzakelijke koerswijziging in het landbouwbeleid legitimeren.

Summary

Review OBN research in the dry sandy regions of the Netherlands

Frank Berendse

broader program, N deposition, nature restoration, agricultural pollution

The new approach of the research programme OBN pays attention to a much broader variety of organisms than it

did in the past. During the last years the programme has revealed important new insights that have far reaching consequences for the development of an appropriate strategy of nature restoration. On the high sandy parts of the Netherlands the high atmospheric nitrogen deposition is still the major factor that constrains the results that can be reached by restoration measures. A fundamental discussion is needed about a new strategy of nature restoration on the high parts of the Netherlands.

Literatuur

Berendse, F., 2016. Wilde apen – Natuurbescherming in Nederland. Zeist, KNNV Uitgeverij, 2de druk, pp. 96.

Berendse, F., 2017. Health and environment: add a tax to EU agricultural policy. Nature 543: 315.

Bobbink, R., H.L.T. Bergsma, J. den Ouden & M.J. Weijters, 2017. Na het zuur het zoet? Bodemverzuring in droog zandlandschap blijvend probleem. Landschap 34/2: 61-69.

Burg, A. van der & J. Vogels, 2017. Soorten bos en hei missen essentiële voedingsstoffen. Landschap 34/2: 71-79.

Bijlsma, R. G., 2006. Effecten van menselijke verstoring op grondbroedende vogels van Planken Wambuis. De Levende Natuur107: 191-198.

Siepel, H., A. Cliquet, C. Vreugdenhil & R.J. Bijlsma, 2017. Wat kunnen we doen, wat moeten we laten? Herstel van het droog zandlandschap. Landschap 34/2: 87-93.

Boeren in Peel en Kempen omstreeks 1800

Frans Aarts, 2016. Enschede, Boekengilde, 132 pagina's, € 12,95. ISBN 978-94-6323-022-3

In Peel en Kempen komt veel droog zand-landschap voor. De betovergrootvader van Aarts had in Deurne een boerderij die model staat in het boek. In detail analyseert hij het familieleven, de boerderij en het landgebruik. Met de kennis van nu schat hij opbrengsten van gewassen en vee, de voeding van vee en huishouden, de verkoop, de beschikbare mest, energie- en mineralenstromen en de uitputting van de bodem. De aandacht voor dat individuele bedrijf maakt dit boek bijzonder.

Aarts schrijft in een sobere stijl, die past bij het boerenleven van toen. De beschrijvingen worden afgewisseld met korte schetsen van spraakmakende gebeurtenissen, zoals het voorkomen van runderpest en rode loop (dysenterie), rampen voor vee en mens. Het boek bevat fraaie pentekeningen van het boerenleven uit die tijd.

Boeren hebben er eeuwen lang op ongeveer dezelfde wijze geboerd. Zekerheid was belangrijker dan experimenteren. Aanpassingen vonden wel plaats, maar zo geleidelijk dat ze nauwelijks opvielen in een mensenleven.



Hoewel de zandbodem nauwelijks geschikt was voor de teelt van gewassen, konden boeren er een bestaan opbouwen door een vruchtbare teeltlaag aan te brengen. Die teeltlaag was het product van strooisel, plaggen, zand en dierlijke en menselijke mest, gemengd in de potstal. Heide werd gebruikt voor het winnen van strooisel, plaggen, voer en brandstof. De akkers waren ingebed in het heidelandschap. Het boerenbedrijf had zo'n vier hectare akker, vooral rond het dorp, 3 hectare grasland in het beekdal en 10 hectare hei. De belangrijkste gewassen waren rogge en boekweit. Heide was dus een belangrijke natuurlijke

hulpbron, maar te intensieve strooisel oogst kon leiden tot zandverstuivingen die akkers en dorpen bedreigden. Daarom lagen de gemaaide heideperceeltjes verspreid, wat van de hei een lappendeken maakte. Schapen kwamen er weinig voor, de benodigde mest kwam van rundvee dat op stal werd gehouden.

Aarts typeert de landbouw in Peel en Kempen in die tijd als roofbouw. Lang wist het boerenbedrijf zich aan te passen aan de uitputting van de bodem, maar in de 19e eeuw lukte dat niet meer. Zelfs de hei kon niet overleven en er ontstonden rampzalige zandverstuivingen. De hei veranderde van bondgenoot in vijand. In de loop van de 19e eeuw stopte de verarming, vooral door overheidsingrijpen, technologische ontwikkeling en een toenemende vraag naar zuivel en vlees. Door aanleg van infrastructuur, introductie van kunstmest en import van veevoer veranderde het gemengde bedrijf in een gespecialiseerd veebedrijf en de gesloten kringloop raakte open. De heide werd overbodig en ontgonnen tot vooral bos. Hei resteerde in natuurgebieden op de armste gronden.

JOS DEKKER, HOOFDREDACTEUR

Kop in het zand

Eenieder die de berichtgeving over de Nederlandse natuur op de voet volgt zal kunnen beamen dat positieve berichten daarin de laatste tijd weer de boventoon voeren. Denk aan de mooie verhalen over de Markerwadden, aan de zeearend, de kraanvogel en de visarend die zich als broedvogel hebben gemeld, en aan allerlei berichten die gretig worden gedeeld via de social media. Een hele verademing vergeleken met het nieuws van een aantal jaar geleden. Afgaande op al die berichten krijg je al snel de indruk dat de natuur in Nederland er goed voorstaat. De werkelijkheid is, zoals wel vaker, een stuk gecompliceerder. De positieve uitzonderingen verhullen dat veel soorten juist sterk achteruitgaan, vaak zonder dat het erg opvalt en zonder dat we goed weten waarom. Verder is het duidelijk dat veel natuurgebieden nog steeds kwetsbaar zijn. Een van de grote boosdoeners is de hoge stikstofdepositie.

Het is dan ook wrang dat veel van de partijen die verantwoordelijk zijn voor die hoge stikstofdepositie, inclusief de overheid, liever wegstappen van alle problemen. In plaats van het nemen van maatregelen om de stikstofdepositie flink te verminderen, heeft men via het Programma Aanpak Stikstof (PAS) voor elkaar gekregen dat er juist weer juridische ruimte komt voor activiteiten die leiden tot een hogere stikstofdepositie. In ruil daarvoor geeft de overheid een flinke som geld aan terreinbeheerders om stikstof uit het milieu te verwijderen via maatregelen zoals plaggen, maaien en begrazen. De gedachte daarachter is dat als je eerst flink wat stikstof uit het milieu haalt, het niet erg is als de depositie daarna weer wat toeneemt. Of deze aanpak überhaupt gaat werken zoals wordt verwacht, is ook nog maar de vraag. Nieuwe ruimtelijke ontwikkelingen leiden al snel tot meer stikstof dan er via maatregelen is verwijderd en de genoemde maatregelen lijken niet altijd even geschikt om de natuurkwaliteit te verbeteren. Een dergelijke aanpak is dan ook alles behalve een duurzame oplossing. Bovendien draait op deze manier de belastingbetaler op voor alle kosten. De vervuilers gaan vrijuit.

Het wordt dan ook tijd dat Nederland gehoor gaat geven aan het luider klinkend pleidooi voor een grondige verduurzaming van het huidige landbouwsysteem. Een dergelijke verandering komt echter niet vanzelf. Het is nodig dat natuurbeschermers een kritisch geluid laten horen en de noodzaak voor verandering blijven benadrukken. Uiteraard is het belangrijk om de successen te vieren en mensen te laten zien hoe mooi en bijzonder de Nederlandse natuur is. Maar het is niet slim om de kop in het zand te steken. De problemen rondom de veel te hoge stikstofdepositie lossen niet vanzelf op en elk uitstel maakt succesvol ingrijpen alleen maar lastiger en duurder.

RAOUL BEUNEN



WLO/NVTL pleiten bij Eerste en Tweede Kamer voor Landschapsvisie

De WLO maakt zich grote zorgen over het landschapsbeleid in Nederland. De decentralisatie van rijkstaken heeft geleid tot een verrommeling van het Nederlandse landschap. De besturen van de WLO en de NVTL (Nederlandse Vereniging voor Tuin- en Landschapsarchitectuur) vragen in een brief aan de fractievoorzitters van de Eerste en Tweede Kamer om aandacht voor deze problematiek en dringen aan op de

totstandkoming van een kaderstellende nationale Landschapsvisie. De tekst van deze WLO/NVTL-brief is te vinden op de website van de WLO: www.landschap.nl, onder actualiteiten.

SANDER VAN OPSTAL,
SECRETARIS WLO

Symposium ‘Bloemrijk of gifgroen?’ op zaterdagmiddag 23 september 2017

Steeds meer mensen maken zich zorgen over het verdwijnen van het weidse, kleurrijke boerenland dat tot voor kort zo onverbrekkelijk met Nederland was verbonden. Het grootste deel van de boerenlandvogels is verdwenen en slootkanten vol bloemen kom je nauwelijks meer tegen. Oorzaken zijn de steeds verdergaande schaalvergroting en intensivering van de landbouw. En dat terwijl de werkgelegenheid op agrarische bedrijven al jaren daalt en het inkomen van veel boeren onder druk staat.

Hoe zal het Nederlandse platteland eruit-

zien over vijftig jaar? Zal dan nog steeds het grootste deel uit landbouwgrond bestaan, terwijl we juist meer ruimte nodig hebben voor wateropvang en recreatie? Kan er dan een landbouw zijn zonder desastreuze effecten op landschap en natuur? Uiteindelijk is de grote vraag, wie er gaat betalen: de natuur, de boer of wij als consument.

Over deze vragen organiseert de Heimans en Thijssse Stichting samen met IVN, KNNV en SoortenNL een symposium op zaterdagmiddag 23 september met als prikkelende

sprekers en muzikanten: Theunis Piersma, Sytze Pruiksma, Krijn Poppe, Bas Eickhout en Titia Wolterbeek. Het symposium wordt gehouden in de Leeuwenbergh in Utrecht en begint om 13.30 uur.

- 55 Redactioneel
Landbouwtransitie nodig
- 57 OBN en het droog zandlandschap
Henk Siebel & Roland Bobbink
- 61 Na het zuur geen zoet?
Bodemverzuring in droog zandlandschap blijvend probleem
Roland Bobbink, Huig Bergsma, Jan den Ouden & Maaïke Weijters
- 71 Zuur voor de fauna
Soorten bos en hei missen essentiële voedingsstoffen
Arnold van den Burg & Joost Vogels
- 80 Op Pad met Jap Smits op de Strabrechtse Heide
Verzuring tast de 'Nachtwacht' aan
- 87 Wat kunnen we doen, wat moeten we laten?
Herstel van het droog zandlandschap
Henk Siepel, An Cliquet, Corné Vreugdenhil & Rienk-Jan Bijlsma
- 95 Hoe nu verder met het droog zandlandschap?
Soorten bos en hei missen essentiële voedingsstoffen
Theo Verstrael, Henk Siebel & Ido Borkent
- 98 Grenzen natuurherstel in zicht
Externe review OBN-onderzoek droog zandlandschap
Frank Berendse
- 101 Boek
- 102 Column
- 103 Vereniging

Landschap

www.landschap.nl