

# Het droge heidelandschap in de 21e eeuw: aandacht voor mineralogie en historisch landgebruik

De biodiversiteit van het droge heidelandschap staat onder druk door de sterke achteruitgang en zelfs uitsterven van karakteristieke planten- en diersoorten. Herstel van het heidelandschap heeft dan ook een hoge (Europese) prioriteit. Daarom is en wordt er veel onderzoek gedaan naar mogelijke knelpunten en herstelmaatregelen.

Uit recente studies komen twee belangrijke, vaak nog onderbelichte knelpunten naar voren die, wanneer effectief aangepakt, een hoge bijdrage kunnen leveren aan herstel en bescherming. Middels de integratie van deze factoren in landschaps-ecologische systeemanalysen kan het beheer van het droge heidelandschap verbeterd worden en daarmee ook het behoud van haar karakteristieke biodiversiteit.

## Knelpunt 1:

### Nivellering door bodemverzuring

Heidebodems zijn van nature zuur, en kunnen dus niet verzuren, is een vaak gehoord misverstand. Door verzurende depositie zijn wel degelijk grote veranderingen opgetreden; met name zwak tot zeer zwak gebufferde standplaatsen zijn sterk gedegradeerd als gevolg van verzurende depositie. De depositie van het sterk verzurende zwaveldioxide is inmiddels door brongerichte maatregelen zeer sterk verminderd. Versnelde verzuring is echter ook nu nog een actueel probleem. Voor de depositie van de eveneens verzu-

rende stikstofverbindingen ammoniak en stikstofoxiden is reductie slechts ten dele gelukt (Velders et al., 2015). De jaarlijkse depositie van verzurende stoffen ligt ook in de huidige tijd boven de kritische grens die is vastgesteld voor droge heidelandschappen.

Juist op zwak gebufferde bodems kwamen veel tegenwoordig ernstig bedreigde, karakteristieke soorten van het heidelandschap voor. Dat deze soorten nog niet uit het

gehele Nederlandse heidelandschap zijn verdwenen is deels te verklaren door verschillen in het moedermateriaal waarop heidegebieden zijn ontstaan. Zowel de historische verspreiding als de snelheid waarmee soorten in de laatste decennia verdwijnen als gevolg van bodemverzuring, vertonen opvallende verschillen tussen verschillende mineralogische regio's. In Noord-Brabant zijn zandbodems beduidend armer aan mineralen dan in Oost-Nederland, de Veluwe en Drenthe (Weijters et al., 2016). Het moedermateriaal in Noord-Brabantse zandbodem bestaat voor meer dan 95% uit inert kwarts; in Midden- en Noord-Nederland is dit gehalte beduidend lager, respectievelijk 86 en 89% (tabel 1). Het totale gewichtspercentage aan basen leverende mineralen in Zuid-Nederland is dus minder dan 5%; in Midden- en Noord-Nederland is dit gehalte twee tot drie maal hoger.

Zeer zandige, leem- en mineraalarme bodems kenden ook in het verleden de

Ontwikkeling van soortenrijke heide op sterk verstoorde bodem na het zeer grondig opruimen van een voormalige Amerikaanse militaire basis tussen Darp en Havelte (foto: Joost Vogels).



laagste buffercapaciteit en zijn als gevolg hiervan al voor de pre-industriële tijd zeer arm en zuur van karakter geworden, en degenereerden tot haarpodzolen (Spek, 2004). In leemrijkere of mineraalrijkere bodems verliep dit proces veel langzamer en ontwikkelden zich holtpodzolen. Deze laatstgenoemde bodems hebben niet alleen een hogere buffercapaciteit, maar zijn door hun hogere mineralenrijkdom ook rijker aan potentieel beschikbare (sporen)elementen zoals K, Mg, Fe en P. Door deze verschillen in herkomst van het moeder-materiaal domineren in heidegebieden in Zuid-Nederland haarpodzolbodems, terwijl in Noord- en vooral Midden-Nederland moder- en holtpodzolbodems veel frequenter aanwezig zijn.

De laatstgenoemde heideregio's zijn als gevolg van deze verschillen in mineralogie ook nu nog soortenrijker dan die in Zuid-Nederland. Valkruid (*Arnica montana*), Rozenkransje (*Antennaria dioica*), Hondsviooltje (*Viola canina*) en Liggend walstro (*Galium saxatile*) zijn voorbeelden van plantensoorten die in het verleden algemeen in de heide voorkwamen. Tegenwoordig zijn de meeste van deze soorten volledig verdwenen uit het Noord-Brabantse heidelandschap, maar ook in de heidegebieden boven de grote rivieren is sprake van achteruitgang (Oostermeijer et al., 2016). Eenzelfde patroon is herkenbaar voor veel diersoorten (kader 1). Zandhagedis (*Lacerta agilis*), Adder (*Vipera berus*), Schavertje (*Stenobothrus stigmaticus*), Zoemertje (*Stenobothrus lineatus*), Bosparelmoevlinder (*Melithaea athalia*) en Aardbeivlinder (*Pyrgus malvae*) zijn voorbeelden van diersoorten die in hun tegenwoordige verspreiding nagenoeg volledig beperkt zijn tot het Veluwemassief en/of Oost-Nederlandse en Drentse heidegebieden. Opvallend is dat dit allen diersoorten zijn die min of meer gebonden zijn aan zwak gebufferde, heischrale en/of bloemrijkere standplaatsen. Recent onderzoek toont aan dat, naast het bekende verlies van bodembuffering door versnelde uitspoeling van basische kationen, bodemmineralen ook versneld verwerken door toegenomen verzuring (Bergsma et al., 2016). In het Nationale Park De Hoge Veluwe is een relatief recent aan het oppervlak blootgelegde C-horizont (74 jaar oud) vergeleken met het naastgelegen originele maaiveld (ca 11.500 jaar oud). De snelheid van verwerking in de toplaag van de jonge bodem werd berekend op 289 kg mineralen/ha/jaar, tegen een gemiddelde van 4,3 kg/ha/jaar in de 11.500 jaar oude

Mineraal (%)	Basen	Zuid:	Midden:	Noord:
		Strabrechtse Heide	Oud Reemsterveld	Dwingelderveld
Kwarts (SiO <sub>2</sub> )	-	96.2	85.8	88.6
K-veldspaat	K	2.18	7.2	5.6
Plagioklaas	Na, Ca	0.66	3.9	2.7
Granaat	Ca		0.33	0.23
Muscoviet	K	0.39	0.3	0.13
Epidoot	Ca	0.08	0.14	0.12
Si-(Fe)-Al kleien	-	0.06	1.03	0.77
Overig <0.1% en onbekend	Mg, Mn, onbekend	0.43	1.3	1.85

**Tabel 1.** Mineralogische samenstelling van de bodemfractie <221 µm van de C-horizont in heidebodems in het Zuiden (Strabrechtse Heide), Midden (Oud Reemsterveld) en Noorden (Dwingelderveld) van Nederland. Per mineraal is aangegeven welke de belangrijkste basische kationen zijn die uit verwerking van deze mineralen vrijkomen.

bodem. Dit grote verschil kan alleen door hoge zuurinvoer verklaard worden. Dit sluit goed aan bij eerdere bevindingen van Hyman et al. (1998) die concludeerden dat er een direct verband tussen zure depositie en verwerking bestaat en dat minimaal 50% van het inkomend zuur door minerale verwerking van plagioklasten wordt geneutraliseerd. De minerale bijdrage aan de buffering van zure depositie is waarschijnlijk veel groter dan tot nu toe werd aangenomen en heeft geleid tot een meetbare afname van basenleverende mineralen als kaliveldspaat, muscoviet en albiet in de bodem. Deze afname van het zelfherstellende vermogen van de bodem impliceert dat ook na totale reductie van verzurende depositie veel verzuurde bodems en de bijbehorende plantengemeenschappen niet meer zullen herstellen naar de oorspronkelijke situatie.

Het nivellerende effect van verzurende depositie op biodiversiteit is in fig. 1 schematisch weergegeven. Door toegenomen

zuurlast verschuiven veel zwak gebufferde bodems richting sterk zure bodems in de aluminiumbufferrange (fig. 1). Bij toenemende zuurlast spoelen basische kationen versneld uit, waardoor het bodemuitwisselingscomplex in toenemende mate wordt bezet door H<sup>+</sup> - en aluminiumionen. Door dit proces van 'doorverzuring' wordt verondersteld dat er een toenemende verschuiving is opgetreden naar soortenarme plantengemeenschappen met Struikhei (*Calluna vulgaris*) als zeer dominante soort (hier gedefinieerd als rompgemeenschap van het *Genisto-Callunetum*). Soortenrijkere (sub) associaties, zoals het *Genisto-Callunetum danthonietosum*, zijn tegenwoordig een zeer zeldzame verschijning geworden in Nederlandse heidelandschappen. Eenzelfde proces is ook opgetreden bij droge heischrale graslanden (*Galium hercynici-Festucetum ovinae*), welke tegenwoordig nagenoeg beperkt zijn tot leemrijke standplaatsen. Deze relicten zijn bovendien vaak in de vorige eeuw onbedoeld door de mens

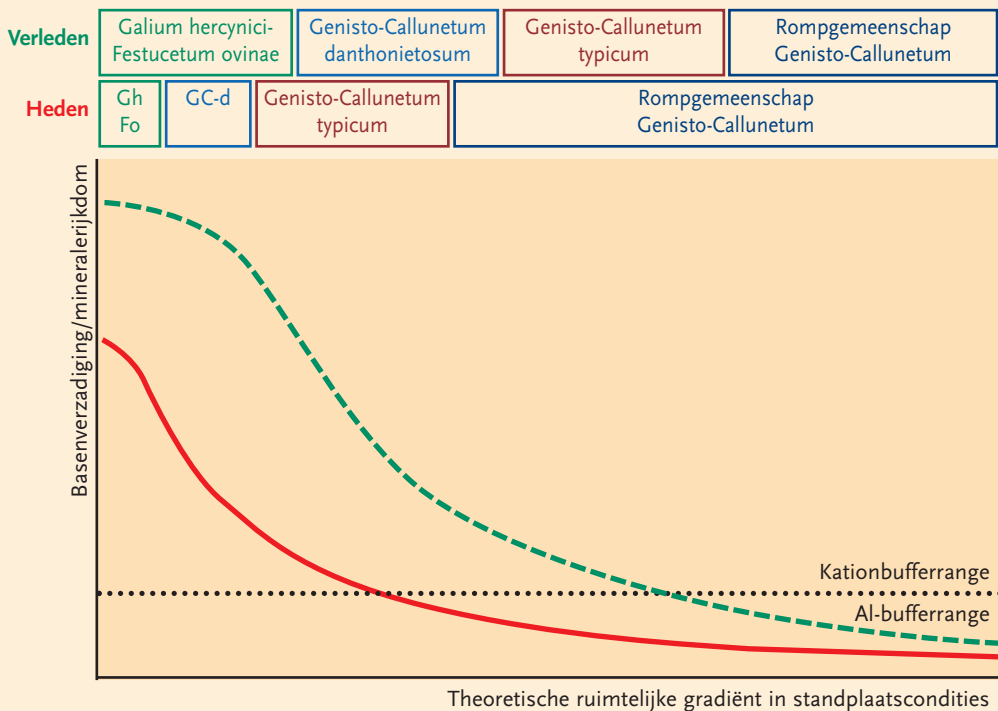
#### Kader 1.

##### Afname van fauna gelinkt aan door verzuring veroorzaakte afname van plantkwaliteit

Nederlandse heideplanten zijn in de huidige tijd gekenmerkt door een opvallend hoge N:P ratio, en deze hoge N:P ratio heeft geleid tot een algehele afname van de voedselkwaliteit van planten voor herbivore fauna door een toenemend tekort van P. De abundantie en soortenrijkdom van veldkrekels, herbivore loopkevers en tweevleugeligen blijkt sterk gecorreleerd met de N:P-ratio van de vegetatie. In vegetaties met lage N:P ratio's is de abundantie en soortenrijkdom hoger dan in vegetaties met hoge N:P ratio's (Vogels et al., in druk).

Negatieve effecten op de abundantie en soortenrijkdom van (herbivore) fauna als gevolg van deze verschuiving naar een hogere N:P ratio zijn niet alleen aangetoond in Zuid-Nederlandse heidegebieden, ook in het Dwingelderveld en de Sallandse Heuvelrug zijn dezelfde relaties tussen plant N:P ratio en abundantie van ongewervelde fauna van droge heide gevonden (Vogels et al., 2011; Vogels, 2013). De plant N:P ratio is op haar beurt positief gecorreleerd met totaal uitwisselbaar Al<sup>3+</sup> in de bodem, en negatief met uitwisselbaar

Ca<sup>2+</sup> in de bodem, wat induceert dat bodemverzuring ook hier een belangrijk sturend proces is. Mogelijke werkingsmechanismen achter de verschuiving van N- naar P-limitatie zijn een toegenomen binding van P aan in oplossing geraakte Al en Fe in de bodem, welke slecht opneembaar zijn voor veel plantensoorten (Blume et al., 2016), of een verminderde opnamecapaciteit van P door het optreden van wortelschade door hoge concentraties aluminium in het bodemvocht (Rengel, 1992).



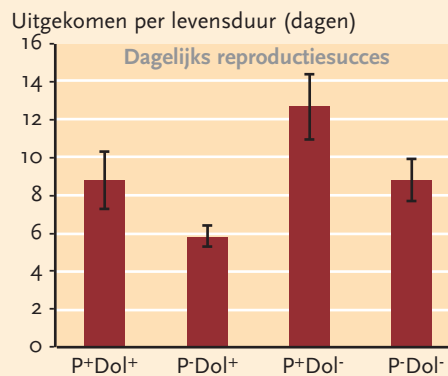
**Fig. 1.** Schematisch overzicht van het effect van verzuring op gradiënten in buffercapaciteit in het Nederlandse droge heidelandschap. **Groene** (onderbroken) lijn: historische gradiënt. **Rode** lijn: huidige situatie. Boven de figuur is een schematisch overzicht gegeven van de corresponderende plantgemeenschappen (op het niveau van heden deels afgekort). Gestippelde lijn: overgang van kation- naar aluminium buffering.

gecreëerd door het aan het oppervlak brengen van mineraal- en basenrijk zand of leem. Voorbeelden zijn delen van het Braamsveldje in Het Nationale Park De Hoge Veluwe en de Kleine en Grote Startbaan bij de Havelterberg.

### Herstel mogelijkheden van verzuurde heidebodems

Voor droge standplaatsen is actief herstel van bodembuffering door toevoeging van bufferstoffen vaak onontkoombaar. Depositie van basische kationen is bij de huidige verzurende depositie te laag om te komen tot oplading van het uitwisselingscomplex. Versneld verweerde basenrijke bodemmineralen zijn te beschouwen als definitief verloren. Er is relatief veel onderzoek uitgevoerd naar het snel en effectief herstellen van de buffercapaciteit van de bodem door middel van een eenmalige gift van snelwerkende bufferstoffen, namelijk door kalk of dolokal (calcium- en magnesiumcarbonaat) additie (de Graaf et al., 1998; Dorland et al., 2004). Recent zijn diverse studies naar alternatieven (steenmeel-additie zonder voorafgaand plagbeheer) opgestart (Weijters et al., 2016), aangezien aan dolokal toediening ook nadelen kleven die een brede toepasbaarheid van deze maatregel in de weg staan. Nadelen van deze methode zijn onder meer: 1) andere elementen (zoals K) worden niet aangevuld, 2) de mineralogie van de bodem wordt niet hersteld; 3) zon-

der plaggen bestaat er een risico van versnelde afbraak van organische stof (met mogelijk verzuuring als gevolg), en 4) na plaggen op sterk verarmde bodems kan dolokal additie leiden tot nieuwe onbalansen die op korte termijn ongunstig zijn voor de kwaliteit van fauna. Recent afgerond driejarig onderzoek naar het effect van (gecombineerde) fosfaat- en dolokal additie na plaggen leverde spectaculair positieve effecten op voor kieming en vesti-



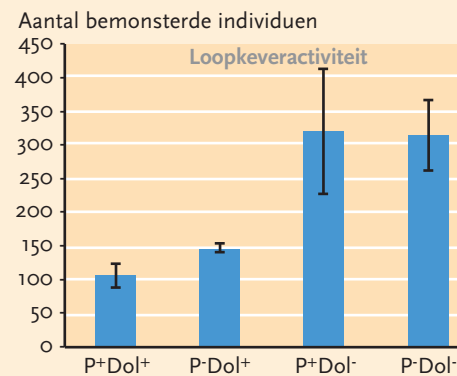
**Fig. 2.** Resultaten van voedselexperimenten met Veldkrekels ( $n=14$ ) uit veldexperimenten in het Nationale Park De Hoge Veluwe. Alle waarden zijn gemiddelden  $\pm 1$  S.E. P+: P toegevoegd. Dol+: dolokal toegevoegd, P-: geen P additie, Dol-: geen dolokal additie. Dol+ behandeling had een significant negatief effect op dagelijks reproductiesucces van Veldkrekels; P+ behandeling had een significant positief effect op dagelijks reproductiesucces.

ging van plantensoorten, maar de korte termijnrespons van dieren op de dolokal additie was juist sterk negatief. Veldkrekels die voedsel van met dolokal behandelde proefvlakken te eten kregen legden significant minder eieren dan veldkrekels die voedsel ontvingen van onbehandelde proefvlakken (Vogels et al., 2016; fig. 2) en loopkevers hadden een significant lagere activiteit op situaties met dolokaltoediening (fig. 3). Zeker is wel dat, wanneer er geen maatregelen worden genomen om de effecten van de bodemverzuring tegen te gaan, de resterende populaties van plant- en diersoorten van het meer gebufferde heidesysteem op veel plekken zullen verdwijnen.

### Knelpunt 2:

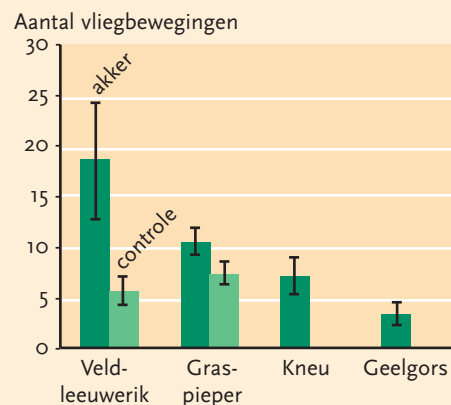
#### Wegvallen van gebruiksdynamiek

Een andere grote verandering in de laatste decennia is het verdwijnen van door de mens gecreëerde voedselrijkere standplaatsen in de directe nabijheid van de overwegend voedselarme heidegronden. In het verleden lagen boerengemeenschappen met hun akkers veelal als 'eilanden' in een zee van woeste grond. Tegenwoordig zijn de resterende heidereservaten juist de eilanden in een zee van intensief gebruikte landbouwgrond. Deze intensief gebruikte gronden zijn thans volledig ongeschikt voor de kenmerkende biodiversiteit van het agrarisch cultuurlandschap. Voorheen algemene soorten als Veldleeuwerik (*Alauda arvensis*) en Kneu (*Linaria cannabina*) zijn de laatste decennia in schrikbarend tempo achteruit gegaan in het agrarisch gebied.



**Fig. 3.** Activiteit van loopkevers ( $n=5$ ) in veld experimenten met P- en dolokal-additie na plaggen in het Nationale Park De Hoge Veluwe. Alle waarden zijn gemiddelden  $\pm 1$  S.E. P+: P toegevoegd, Dol+: dolokal toegevoegd, P-: geen P additie, Dol-: geen dolokal additie. De activiteit van loopkevers in de Dol+ behandelingsplots was significant lager dan in de Dol- plots. Hier werd geen significant effect van P+ behandeling gevonden.

**Fig. 4.** Gemiddeld aantal vliegbewegingen (+/- 1 S.E.) per tien minuten van Veldleeuwerik, Graspieper, Kneu en Geelgors in akkers in het Nationale Perik de Hoge Veluwe en Strabrechtse Heide, in vergelijking tot de naastgelegen droge heide (controle). Voor Kneu en Geelgors werden geen vliegbewegingen in naastgelegen heide geregistreerd, met als gevolg dat hier geen controle waarden aanwezig lijken te zijn. Voor Veldleeuwerik was het aantal vliegbewegingen significant hoger in de akker plots (Wilcoxon ranked sum test:  $p=0.025$ ;  $n=9$ ).



Alleen in de grotere heidegebieden houden deze soorten tot op heden nog redelijk stand. Om deze soorten voor de toekomst voor Nederland te kunnen behouden zullen heidebeheerders ook de agrarische functies die vroeger onlosmakelijk met het heidelandschap verbonden waren in hun beheer moeten opnemen. Gelukkig zijn in de resterende heidereservaten nog veel relictten van vroegere kleinschalige kamptongingen terug te vinden. Deze 'heideakkers' zijn tegenwoordig vaak al lang niet meer in agrarisch gebruik, maar verbost, omgevormd tot schapenweide of actief verschaald of ontgrond om heideontwikkeling weer een kans te geven.

#### Herinvoering akkerbeheer

Onderzoek naar het effect van akkerbeheer op ongewervelden en broedvogels heeft opengewezen dat het raadzaam is om heideakkers weer in ere te herstellen (Vogels et al., 2013). Nestonderzoek naar Veldleeuweriken wees uit dat het uitloepsucces van deze soort beduidend hoger is dan in het huidige intensieve agrarisch gebied: 48 tot 78% in de onderzochte heidereservaten; 2 tot 20% in intensief agrarisch gebied (Teunissen et al., 2009). Vliegbewegingen van Veldleeuwerik, Graspieper (*Anthus pratensis*), Kneu en Geelgors (*Emberiza citrinella*) in

actief beheerde heideakkers lieten duidelijk zien dat deze een belangrijke functie vervulden als foerageergebied voor drie van de vier onderzochte soorten (fig. 4).

Ook veel planten en insecten zijn afhankelijk van functies die deze akkersystemen leveren. Op heideakkercomplexen die al lang in traditioneel beheer zijn worden vaak percelen langdurig braak gelegd. De randen van deze akkers kennen vaak een heischraal karakter waar soorten als Mannetjesereprijs (*Veronica officinalis*), Tandjesgras (*Danthonia decumbens*), Biggenkruid (*Hypochaeris radicata*), Muizenootje (*Hieracium pilosella*) en veel andere nectarplanten een belangrijke functie vervullen voor bloembezoekende insecten. Door de wat hogere beschikbaarheid van voedingsstoffen is de voedselkwaliteit van de vegetatie bovendien veel gunstiger dan in de naastgelegen, verzuurde en met stikstof verrijkte heide, en vinden we in de tot schraalland ontwikkelde langdurig braakliggende heideakkers de hoogste soortenrijkdom van soorten die als karakteristieke heidesoorten bekend staan (Vogels et al., 2011; Vogels et al., 2013). De biodiversiteit van het heidelandschap blijkt beter beschermd wanneer de ruimtelijke verbintenis tussen het vroegere outfield (de heide) en het infield (de akker) actief hersteld wordt.

#### Conclusie: aanpak analyse bodemgesteldheid en historisch landgebruik

Voor het herstel van een duurzaam functionerend heidesysteem en de daarmee geassocieerde soorten is specifieke kennis over beide factoren van groot belang. Is de bodem sterk verzuurd, is er sprake van een mineraal-arme bodem die hiervoor zeer gevoelig is (maar ook in het verleden waarschijnlijk nooit heel soortenrijk is geweest), is er nog steeds sprake van een te hoge zuurlast in het terrein? Is het voor systeemherstel noodzakelijk dat de mineralogie en daarmee de bodembuffering wordt hersteld? Zijn er nog voedselrijkere plekken in het gebied aanwezig, hoe worden die nu gebruikt en beheerd, is er voldoende afwisseling tussen meer gebufferde en zuurdere locaties, tussen voedselarm en voedselrijk? En zo niet, hoe kunnen deze terreincondities ontwikkeld of versterkt worden? Om het risico op het beheer naar een 'ideaalbeeld van de heide' te kunnen beperken is een lokale en regionale kennis van de historische potenties van een heidesysteem van groot belang. Zoals eerder besproken waren heidevegetaties zeker niet overall even soortenrijk: de bodemcondities zijn bepalend voor de soortenrijkdom van zowel planten als dieren. Het raadplegen van bodemkaarten is een eerste stap om verschillen en verspreiding van bodemprofielen te kunnen identificeren. Ook is het van belang om te beseffen dat de mineralogie van de zandgronden regionaal sterk kan verschillen. Dit geldt niet alleen voor glaciële afzettingen, ook de dekzanden kennen grote regionale verschillen. Door het verzamelen van deze gegevens uit literatuur kan vervolgens in het veld in meer detail worden nagegaan welke potenties voor herstel van soortenrijke gemeenschappen een gebied heeft. Het graven van bodemprofielkuilen, grondboringen, het opnemen van het humusprofiel en het verzamelen en

Voedselexperiment met veldkrekels met plantmateriaal uit het veldexperiment met P- en dolokal-additie na plagbeheer. In het bakje zijn brokjes vermalen plantmateriaal, verkregen uit het veldexperiment te zien (foto: Joost Vogels).





Een voormalig wildakkertje op de Sallandse Heuvelrug wordt in een drieslag rotatie stelsel verbouwd (foto: Roland Bobbink).

analyseren van bodemmonsters voor biochemische en/of mineralogische analyse leveren vervolgens essentiële informatie op voor de toetsing van de uit literatuuronderzoek opgestelde werkhypothese. Idealiter worden deze metingen in het veld gekoppeld aan vegetatie- en faunaonderzoek, zodat de relaties tussen bodemgesteldheid en biodiversiteit inzichtelijk worden. De gebruikshistorische component kan voor een groot deel op basis van historisch kaartmateriaal en aanvullende veldbezoeken worden achterhaald. Zo kan op basis van oude kaarten en luchtfoto's en het actueel hoogtebestand nagegaan worden waar in de heide kamptonginningen gelegen hebben. Deze kamptonginningen zijn de beste plekken voor het toepassen van heideakkerbeheer. Ze zijn immers al ooit beploegd, waardoor bestaande, ongestoorde bodemprofielen en/of beschermde habitattypen niet verloren gaan. Tevens zijn ze ook nu nog vaak rijker aan buffer- en voedingsstoffen, waardoor het akkerbeheer sneller het beoogde resultaat oplevert dan wanneer in zure uitgeloopte bodems begonnen moet worden.

In een voormalige heideakker in de Teut (Belgisch Limburg) heeft zich een schraalgrasland ontwikkeld. Onderin de boor is nog juist de ondergrens van de ploeghorizont waarneembaar. Door het ploegen is veel rijker moedermateriaal uit de C-horizont weer in de top van het bodemprofiel vermengd. Bovenin het profiel is de vorming van een micropodzol waarneembaar (foto: Joost Vogels).

Met het beschrijven van deze knelpunten willen wij tevens benadrukken dat er niets bestaat als een breed toepasbaar begrip van 'de heide'. Elk heidegebied is ontstaan op regionaal specifiek en mineralogisch verschillend moedermateriaal, die de basis heeft gevormd voor verschillen in bodemopbouw en uiteindelijk soortensamenstelling- en rijkdom. Recent zijn al deze gebieden wel sterk onder druk komen te staan door versnelde verzuring, waardoor deze regionale verschillen steeds meer uitgevlakt dreigen te worden. Hieruit volgt ook dat 'de heide' van oudsher niet enkel uit zure door Struikheide gedomineerde vegetaties bestond, maar een veel rijkere verscheidenheid gekend heeft, met verschillen in mineralogie, buffering en voedselrijkdom. Kennis van beide probleemvelden zou daarom standaard meegenomen moeten worden bij iedere landschapsecologische systeemanalyse en afhankelijk van de

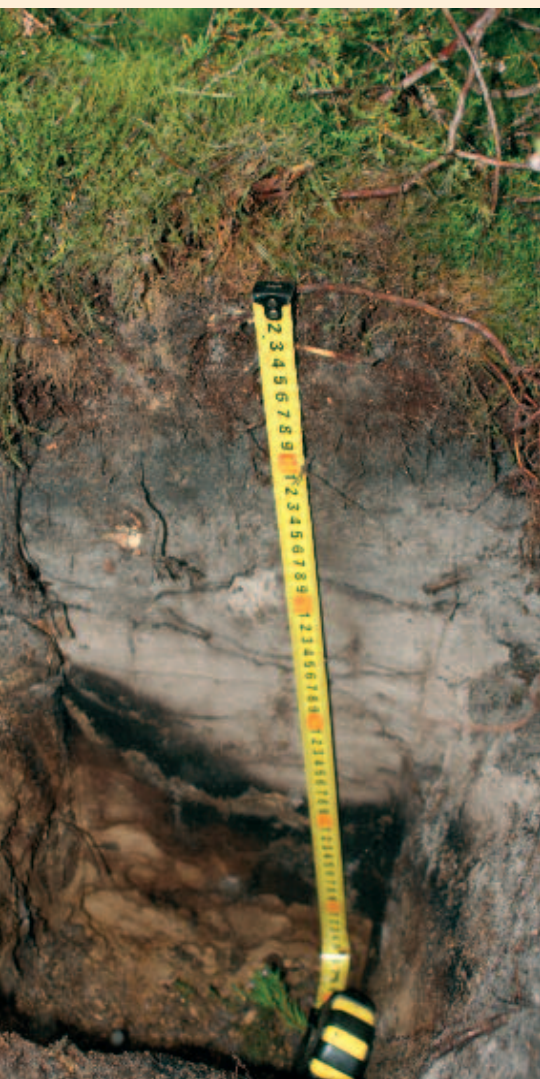
doelstelling globaal (op basis van bodemkaarten en historisch kaartmateriaal) tot fijnmazig (bodemchemische en mineralogische veldmetingen) moeten worden uitgewerkt.

In dit artikel hebben we gepoogd een onderbouwing te geven voor de sinds enige jaren ingezette trendbreuk in de visie op het beheer van droge heidelandenschappen: van zo schraal en arm mogelijk naar versterken en herstel van variatie in standplaatscondities. Momenteel wordt in de praktijk onderzocht of en hoe de mineralogie en daarmee bodembuffering en nutriëntenbalans van heidebodems duurzaam hersteld kan worden; beheerders tonen in toenemende mate interesse en enthousiasme in het integreren van heideakkerbeheer in hun beheerplannen. Als deze onderwerpen in voldoende mate en effectief worden aangepakt is er weer een toekomst voor de karakteristieke bedreigde soorten van het Nederlandse droge heidelandenschap.



**Literatuur**

**Bergsma, H.L.T., J.J. Vogels, M.J. Weijters, R. Bobbink, A.J.M. Jansen & L. Krul, 2016.** Tandrot in de Bodem: Hoeveel biodiversiteit kan de huidige minerale bodem nog ondersteunen? *Bodem 1*: 27-29.  
**Blume, H.P., G.W. Brümmer, H. Fleige, R. Horn, E. Kandeler, I. Kögel-Knabner, R. Kretschmar, K. Stahr & B.M. Wilke, 2016.** Scheffer/Schachtschabel Soil Science. 1st editie. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.  
**Dorland, E., L.J.L. van den Berg, A.J. van de**



Zeer diep ontwikkeld haarpodzol-profiel verradt een eeuwenlange onverstoorde heideontwikkeling in een droge heide gelegen in Belgisch Limburg. Het bodemprofiel wordt hier gekenmerkt door een dikke laag strooisel, een diep ontwikkelde, scherp begrensde grijze E-horizont en een dikke podzol B en BC horizont. Relatief soortenarme droge heide is hier waarschijnlijk al eeuwenlang het aspectbepalende vegetatietype geweest (foto: Joost Vogels).

**Berg, M.L. Vermeer, J.G.M. Roelofs & R. Bobbink, 2004.** The effects of sod cutting and additional liming on potential net nitrification in heathland soils. *Plant and Soil* 265: 267-277.  
**Graaf, M.C.C. de, P.J.M. Verbeek, R. Bobbink & J.G.M. Roelofs, 1998.** Restoration of species-rich dry heaths: the importance of appropriate soil conditions. *Acta botanica Neerlandica* 47: 89-111.  
**Hyman M.E., C.E. Johnson, S.W. Bailey, J.W. Hornbeck & R.H. April 1998.** Chemical weathering and cation loss in a base-poor watershed. *Geological Society of America Bulletin* 110(1):85-95.  
**Oostermeijer, J.G.B., S.H. Luijten, M.J. Weijters & R. Bobbink, 2016.** Rozenkransje en heischraal grasland in Drenthe. *De Levende Natuur* 117(1): 22-27.  
**Rengel, Z., 1992.** Role of calcium in aluminum toxicity. *New Phytologist* 121: 499-513.  
**Spek, T., 2004.** Het Drentse esdorpenlandschap. Een historisch-geografische studie. Matrijs, Utrecht.  
**Teunissen, W., H.-J. Ottens, M. Roodbergen & B. Koks, 2009.** Veldleeuweriken in intensief en extensief gebruikt agrarisch gebied. SOVON Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.  
**Velders, G.J.M., J.M.M. Aben, G.P. Geilenkirchen, H.A. den Hollander, E. van der Swaluw, W.J. de Vries & M.C. van Zanten, 2015.** Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland – Rapportage 2015. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM).  
**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). DKI-EL&I, Den Haag.  
**Vogels, J.J., 2013.** Voedsel van korhoenkuikens onder het vergrootglas - De relatie tussen plantkwaliteit en dichtheid van ongewervelde fauna op de Sallandse Heuvelrug. Stichting Bargerveen, Nijmegen.  
**Vogels, J.J., H.A.H. Jansman, R. Bobbink, M. Weijters, E. Verbaarschot, P.G.A. Ten Den, R. Versluijs & S. Waasdorp, 2013.** Herstellen van akkers als onderdeel van een intact heideland - De koppeling tussen arme heidegebieden en rijkere gronden. Directie Agro kennis, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.  
**Vogels, J.J., M. Weijters, R.J. Bijlsma, R.W. de Waal, R. Bobbink & H. Siepel, 2016.** Fosfaatvoeging Heide. Onderzoeksproject OBN 2012-31-DZ. VBNE, Driebergen.  
**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. Provincie Noord-Brabant, VBNE (OBN-2014-58-DZ) en het Nationaal Park De Hoge Veluwe.

**Summary**

**Dry lowland heathland landscapes in the 21st century: focus on mineralogy and historic land use**

The biodiversity of lowland dry heathland landscapes has deteriorated markedly. In order to restore and protect the characteristic biodiversity of these systems on the landscape scale, the authors make a plea to restore regional and local differences in soil buffer capacity and soil mineralogy, and to re-instate extensive heathland farming practices where possible. Even in a small country such as The Netherlands, remarkable regional differences in soil mineral composition exist, explaining differences in historic and present species composition, as well as past and current soil acid neutralizing capacity. Due to increased acidification, these differences are in the process of being leveled out, resulting in the observed biodiversity loss. Since both base saturation and remaining soil mineral budgets have deteriorated markedly, addition of base cations by means of liming or rock flour addition as restoration measures should be considered. Re-instating small scaled farming practices in heathlands will also prove to be beneficial in the protection of many heathland characteristic species, including many, rapidly declining farmland birds. In order to do justice to regional differences in soil characteristics and its associated biodiversity, the implementation of these measures should be based on site specific conditions, and require a deep understanding of local site characteristics such as soil mineralogy, soil types and historical land use patterns.

Drs. J.J. Vogels  
 Stichting Bargerveen,  
 Radboud universiteit Nijmegen  
 Postbus 6500 GL, 6525 ED Nijmegen  
 j.vogels@science.ru.nl

Dr. R. Bobbink & Drs. M.J. Weijters  
 Onderzoekcentrum B-WARE,  
 Radboud Universiteit Nijmegen  
 Postbus 6558, 6503 GB Nijmegen  
 r.bobbink@b-ware.eu  
 m.weijters@b-ware.eu

Drs. H.L.T. Bergsma  
 BodemBergsma  
 Blikakker 8, 7421 GD Deventer  
 info@bodembergsma.nl