



foto's Maaik Weijters

Steenmeel en natuurherstel: een gelukkige relatie of een risicovolle combinatie?

— Rudy van Diggelen¹, Huig Bergsma², Rienk-Jan Bijlsma³, Roland Bobbink⁴, Arnold van den Burg⁵, Jan Sevink⁶, Henk Siebel⁷, Henk Siepel⁸, Joost Vogels^{8,9}, Wim de Vries¹⁰ en Maaik Weijters⁴

1. Ecosystem Management Research Group, Universiteit Antwerpen
2. Bodem Bergsma
3. Wageningen Environmental Research
4. Onderzoekcentrum B-WARE
5. Biosphere Science Foundation
6. Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics, Universiteit van Amsterdam
7. Vereniging Natuurmonumenten
8. Animal Ecology and Physiology, Radboud Universiteit
9. Stichting Bargerveen
10. Departement Omgevingswetenschappen, Wageningen Environmental Research

Sinds het midden van de vorige eeuw heeft de Nederlandse natuur te lijden gehad van overmatige zuur- en stikstofdepositie. Maatregelen om de effecten hiervan te bestrijden, leidden niet altijd tot het gewenste resultaat en hadden soms dermate sterke neveneffecten dat ze eerder ongewenst waren. Sinds kort is steenmeel in beeld als middel dat mogelijk wel de positieve effecten maar niet de neveneffecten heeft. Kennis over de effecten van steenmeel op gedegradeerde natuur en bos is echter nog lang geen gemeengoed. Op 18 februari 2019 organiseerden de VBNE en het OBN Deskundigenteam Droog zandlandschap een discussiedag voor onderzoekers en andere direct betrokkenen rond het onderwerp “Steenmeel als herstelmaatregel” om kennis, inzichten en onzekerheden rond dit thema uit te wisselen en mogelijke richtlijnen te bespreken voor een eventuele toepassing van steenmeel als herstelmaatregel in natuurgebieden.

> In het droog landschap zijn de negatieve gevolgen van langdurige verzuring en hoge stikstofdepositie op natuurkwaliteit het sterkst merkbaar. Er is hier sprake van een “nutriëntenonbalans”: een tekort aan bepaalde voedingsstoffen (zoals P, Ca, Mg, K) en een overschot aan stikstof. Centraal staan de vragen of, en zo ja hoe, toepassing van steenmeel kan bijdragen aan het wegnemen of verminderen van de nutriëntenonbalans, en of er risico's aan het toepassen ervan verbonden zijn. Steenmeel bestaat voornamelijk uit silicaten en bevat weinig tot geen calciumcarbonaten. Deze silicaatmineralen consumeren tijdens het verweringsproces H^+ ionen en neutraliseren daarmee inkomend zuur. Bij dit proces van verwerking komen basische kationen, fosfor en sporenelementen vrij. De hoeveelheid H^+ ionen die wordt geconsumeerd hangt af van de verwerkingssnelheid, die zelf weer afhankelijk is van de korrelgrootte (grover = langzamer en fijner = sneller) en de mineralensamenstelling van het steenmeel.

De huidige bodems op de droge hogere zandgronden hebben een lange ontwikkeling doorgemaakt sinds de laatste ijstijd: van bruine bosgronden (met banden B) > zure bruine bosgronden > moderpodzolgronden tot uiteindelijk humuspodzolgronden. De meeste van de huidige bodems van het droog zandlandschap zijn moder- en humuspodzolgronden waarbij uitspoeling van moder en

verdere verzuring en mobilisatie en uitspoeling van ijzer en aluminium de belangrijkste processen zijn. De ANC (*acid neutralizing capacity*) en de vegetatie bepalen hierbij de snelheid van verandering. Bij moedermateriaal met lage ANC treedt al snel podzolering op wat leidt tot mobilisatie van Al en Fe. De initieel snelle verwerking neemt enerzijds af bij het verdwijnen van makkelijk verweerbare mineralen, anderzijds neemt verwerking toe bij mobilisatie van aluminium. Er zijn veel aanwijzingen voor een belangrijke rol van mycorrhizae in mineraalverwerking, maar niet bekend is in welke mate dit leidt tot significante afwijkingen in verwerkingstrends en -snelheden.

In recente tijd heeft de uitstoot van SO_x , NO_x en NH_3 geleid tot (extra) verzurende depositie in de vorm van $(NH_4)_2SO_4$ en NH_4NO_3 . Dit wordt in de bodem geneutraliseerd door het vrijkomen van kationen (verwerking, uitwisseling) en het vastleggen van anionen (sulfaatadsorptie, N-immobilisatie). Meestal neemt hierbij de basenbezetting op het adsorptiecomplex af en de zuurbezetting toe (bijvoorbeeld doordat Ca^{2+} wordt vervangen door $2H^+$). Beneden een pH van ongeveer 4.5 en een basenbezetting van ongeveer 25 procent neemt de concentratie van Al in het porievocht en aan het adsorptiecomplex snel toe. Al-mobilisatie en de toxische werking hiervan op plantenwortels zijn sinds lang bekende gevolgen van S- en N-depositie. Uit monitoring van de bovengrond

(0-30 cm) in Nederlandse bossen sinds 1990 blijkt dat na 2000 stikstof in plaats van zwaveldioxide de dominante bron voor verzuring is. De sterke afname van zwaveldepositie tussen 1990 en 2001 ging gelijk op met een daling in de mobilisatie van Al op alle locaties waar de bodem al zuur was en zich in de aluminium buffer range bevond. Dat geldt in mindere mate ook voor de Al/Ca ratio als verzuringindicator, die licht daalde.

De uitkomsten van onderzoek naar de langetermijneffecten van verzuring in zestien eikenopstanden die zowel in 1990 als in 2015 zijn bemonsterd, zijn gepresenteerd in het Vakblad van september 2017. Een belangrijke conclusie is dat in de paar bodems waar in 1990 nog een basenbezetting (Ca, K, Mg) van >15 procent in de bovengrond was, deze in 2015 verder bleek te zijn afgenomen tot onder de 15 procent. Dit laat zien dat ondanks een afname in zure depositie na 1990, de verwerking van bodemmineralen niet in staat is de resterende depositie te neutraliseren, en de basenverzadiging nog steeds afneemt. Het toedienen van steenmeel als een wat sneller verweerbare bron van mineralen leidt waarschijnlijk tot een toename in de hoeveelheid uitwisselbare basen op het adsorptiecomplex en daarmee mogelijk tot herstel van de buffering.

Verwerking: versneld of niet?

Een goede kennis van verweringsprocessen is cru-



ciaal voor het selecteren van steenmeel met een passende samenstelling en het voorspellen van de mate waarin dit kan bijdragen aan zuurneutralisatie. Snel verwerende mineralen, zoals olivijn, hebben een sterker zuurbufferende werking dan mineralen die langzamer verwerken zoals veldspaat. De vraag is in hoeverre de minerale verwerkingssnelheid tegenwoordig hoger is als gevolg van de toegenomen zuurdepositie. De schaarse onderzoeken geven contrasterende resultaten: van géén indicatie voor versnelde verwerking in stabiele bodems op voormalig stuifzand tot juist sterk verhoogde verwerkingssnelheden in jonge bodems in gegraven kuilen.

De precieze duiding van die versnelde verwerking is nog onderwerp van discussie. Zo kan een jonge bodem snel verwerken omdat deze snel verweerbare mineralen bevat. Maar er worden hier ook hoge verwerkingssnelheden gemeten in mineralen met een lage chemische verwerkingssnelheid. Mogelijk wordt deze versnelde verwerking veroorzaakt doordat de jongere bodem gemiddeld per jaar meer zuur heeft ontvangen.

Flora, vegetatie en fauna

Bodemverzuring gaat hand in hand met een afname van basische kationen en het vrijkomen van toxische metalen (Fe, Al) en leidt daarmee tot een remming van nitrificatie en decompositie en vervolgens in hogere NH_4/NO_3 -ratio's en strooiselophoping. De verhoogde Al-concentraties en hoge NH_4/NO_3 -ratio's zijn verantwoordelijk voor de sterke achteruitgang en zelfs het verdwijnen van kruiden in het heidelandschap. Veranderingen in de bladchemie van loofbomen (beuk, eik) wijzen op tekorten aan Ca, Mg en/of K. Verhoogde N/P-ratio's als gevolg van verzuring en vermesting zien we zowel in bossen als in heidegebieden. Voordat je aan herstelmaatregelen begint, moet eerst goed duidelijk zijn welke knelpunten in een specifiek terrein spelen, op welke processen je wil ingrijpen, welke maatregelen daar het beste bij aansluiten en welke risico's daar bij horen. Maatwerk dus!

De gevolgen van veranderende nutriëntratio's voor herbivore ongewervelden zijn redelijk in beeld gekomen, maar worden nog slecht

begrepen vanwege specifieke eisen tijdens de verschillende ontwikkelingsstadia en vanwege de complexe relaties tussen bodem, plant en ongewervelden. Een belangrijke factor is de relatie tussen zuurgraad, P-beschikbaarheid en de N/P-ratio van de voedselplant, waarbij een verhoogde N/P-verhouding in de plant blijkt te leiden tot een verminderde overleving en/of voorkomen van ongewervelden. De toegenomen depositie van stikstof heeft in veel gevallen geleid tot een toename in de N/P-ratio, maar ook tot verzuring, waardoor zowel Ca, Mg, K en ook sporenelementen zoals Mn zijn uitgespoeld. Steenmeel toedienen is een potentiële herstelmaatregel, hoewel ook hier sprake is van maatwerk.

Mineralengebrek op de meest nutriëntenarme bodems kan ook leiden tot problemen hogerop in de voedselpiramide. Een lage calciumbeschikbaarheid leidt tot een afname van onder andere huisjesslakken en miljoenpoten, waardoor vogels belangrijke kalkbronnen missen. Dit leidt tot defecte eischalen en nestjongen met pootbreuken. Omdat vrijwel alle steenmelen kalkarm zijn



is toediening van steenmeel hier geen optie maar zou eerder bekalking moeten plaatsvinden. Langjarig onderzoek aan sperwers op de Veluwe laat effecten zien van een andere nutriëntenonbalans, waarvan de gevolgen tot in de top van de voedselpiramide zichtbaar zijn. In bossen op de meest nutriëntenarme bodems (stuifzand, dekzand) is de aminozuurproductie in zomereiken lager dan op nutriëntenrijkere bodems (stuwwal) waardoor de kwaliteit van eikenblad als voedsel voor rupsen sterk afgenomen en hun overleving sterk verminderd is. De aminozuurtekorten werken ook door op de veergroeisnelheid van koolmeesjongen en daarmee op de voedselbeschikbaarheid voor toppredatoren zoals sperwers. In de bossen op nutriëntenarme bodem komen dan ook steeds minder sperwers voor.

Steenmeel in de praktijk

Op basis van de hierboven geschetste inzichten concluderen wij over het gebruik van steenmeel:



1. Verzuring is een natuurlijk proces op vooral bodems van droge en hogere zandgronden en sterk is versneld als gevolg van de door mensen verhoogde zuurlast. Hoewel de huidige jaarlijkse zuurlast in vergelijking met de jaren tachtig van de vorige eeuw duidelijk is afgenomen, blijkt de beschikbaarheid van basische kationen in de bodem niet toe te nemen of zelfs nog verder af te nemen. Het volledig aanvullen van de door menselijke oorzaken verdwenen mineralenvoorraad is nagenoeg onmogelijk omdat de mineralensamenstelling van commercieel beschikbaar steenmeel afwijkt van die van onze zandgronden en de door verzuring veranderde bodemopbouw deels onomkeerbaar is. Wel is de 'acid neutralizing capacity' van een steenmeeldosering van 10 ton/ha toereikend om de huidige zuurlast van ongeveer 1,5-3 keq/ha/jr voor ongeveer een decennium te neutraliseren en kan het verlies van beschikbare basen daarmee deels worden teruggedraaid.
2. Toediening van steenmeel is een *no-regret*-maatregel. De basen komen langzaam vrij en verstoren, afhankelijk van de samenstelling en de gebruikte dosering, het systeem niet. De P die vrijkomt uit steenmeel kan essentieel zijn in systemen met P-gebrek en spoelt niet snel uit. Door het toedienen van bufferstoffen (silicaat of kalk) kan versnelde mineralisatie van organische stof optreden. Maar door een slimme keuze van het product en de maling ervan, kun je het pH-effect reguleren en blijven de negatieve effecten beperkt.
3. Toediening van steenmeel is geen complete oplossing voor de nutriëntenonbalans, hoewel we verwachten dat de nitrificatie na bufferherstel beter verloopt en daarmee de NH₄-beschikbaarheid afneemt. De eerste voorzichtige tekenen van herstel naar een meer optimale NH₄/NO₃-verhouding werden al gemeten in bos- en heide-experimenten met steenmeel. Ook zijn de eerste positieve effecten gemeten op basenbeschikbaarheid in de bodem, plantkwaliteit en respons van ongewervelden bij het gebruik van een P-leverend steenmeel.
4. Als de aanvoer van basen via hydrologische maatregelen niet mogelijk is, kun je overwegen om bufferstoffen toe te dienen. In het huidige droog zandlandschap is vaak sprake van een onbalans in nutriënten en elementen. Het gebruiken van een bufferstof die voornamelijk uit één voedingsstof bestaat (kalk of steenmeel), zal dit probleem alleen versterken. Het risico op overdosering van bufferstoffen neemt toe naarmate het adsorptiecomplex kleiner is (bijvoorbeeld op bodems met weinig organische stof na plaggen, zoals op de heide)

en de reactiviteit van de bufferstof groter (carbonaat > silicaatmineraal). Bij de dosering en keuze voor de bufferstof moet dan ook rekening worden gehouden met de grootte van het adsorptiecomplex.

5. Als kenmerkende en bijzondere soorten verloren dreigen te gaan (zoals bij heischraal grasland) of als bekend is dat er ammoniumpieken kunnen optreden, bestaat het risico dat het steenmeel zoals nu getest, te langzaam werkt. Hier zou mogelijk op kleine schaal met Dolokal, een hogere dosering van steenmeel, een fijnere maling of een combinatie van technieken en producten gewerkt moeten worden. Daarmee is echter geen ervaring.
6. Omdat systeemherstel met steenmeel kostbaar en nog in ontwikkeling is, raden we af om het als standaardmaatregel op landschapsschaal in te zetten. Wel vinden we dat het uitvoeren van grootschalige veldproeven, mits goed gemonitord en beargumenteerd, mogelijk moet zijn.

Onzekerheden

We weten nog niet alles over het gebruik van steenmeel als herstelmaatregel. Zo begrijpen we nog niet alle bodemchemische processen, waarbij met name de verwerkingssnelheid van verschillende soorten steenmeel, de nutriënten die hierbij vrijkomen en de mate waarin de verwerking in de tijd lineair verloopt van belang zijn. Daarnaast hebben we nog vragen over de interactie met organisch materiaal en kansen en risico's bij toepassing op bodems met een strooisellaag. Ook is over de effecten van steenmeeltoepassing op in de bodem levende fauna onvoldoende bekend, terwijl deze organismen een essentiële rol bij de decompositie spelen. Tenslotte hebben we nog geen langetermijnresultaten beschikbaar en weten we dus niet wat de effecten van steenmeeltoediening zijn op bodem, fauna en vegetatie na tien jaar.

Samenvattend vinden we dat de huidige (kortlopende) experimenten met steenmeel wel degelijk een bijdrage laten zien aan een verbeterde beschikbaarheid en balans van basen en voedingsstoffen. Steenmeel heeft daarmee potentie als herstelmaatregel. Tegelijk is echter ook duidelijk dat het toedienen ervan maatwerk is en per situatie *fine-tuning* vereist. Om dat te kunnen optimaliseren is nog het nodige steenmeelonderzoek vereist.<

ruurd.vandiggelen@uantwerpen.be

De presentaties die gehouden zijn tijdens de discussiedag zijn te vinden op de OBN-website. Uitgebreidere achtergrondinformatie is te vinden in de literatuurlijst op de site van dit vakblad.