



Muizenootje in de bosherstelproef in het Roekelse Bos. Over de vegetatie is een rek geplaatst om afgrazing te voorkomen.

teruggedraaid door kunstmatig bufferstoffen toe te voegen. Wil je eveneens de problemen van zangvogels zo snel mogelijk verhelpen, dan kan dat uitsluitend met kalk in aragoniet-kristalstructuur (zoals in schelpgruis en eischalen), omdat de meeste vogels geen andere vormen van anorganisch calcium eten. In de zure strooisellaag op de minerale bodem ligt een grote nutriëntenvoorraad opgeslagen. Breng je voor het verhogen van de strooiselafbraak en het herstel van kruidachtigen de zuurgraad van het strooisel boven de pH 4, dan is de kans groot dat de nutriëntenvoorraad door versnelde mineralisatie vrijkomt (waarbij de H-laag verdwijnt). Ook het vermestende effect van decennia stikstofdepositie laat zich hierbij gelden. Dit geeft (bij voldoende water en licht) een sterke dominantie van nitrofiële plantensoorten in de ondergroei waardoor veel typische bosplanten nog altijd geen kans maken. Het dilemma is dus hoe je de zuurgraad van de bodem kunt herstellen, zodat vogels, de vegetatie en de bodem hier baat bij hebben zonder negatieve bijwerkingen zoals verruiging van de ondergroei.

#### Directe problemen van het stikstofoverschot

Daarnaast is er het als op zichzelf staand te beschouwen probleem van het stikstofoverschot. Hierdoor worden planten niet meer in hun groei gelimiteerd door stikstof (maar door fosfor, kalium, calcium,...). De overtollige stikstof, die dus niet voor groei en ontwikkeling gebruikt kan worden, kunnen de planten dan aanwenden om meer anti-vraatstoffen te maken. Ook kan de stikstofhuishouding spaaklopen waardoor de eiwitproductie in planten daalt, wat eveneens een probleem kan vormen voor dieren die van deze

planten moeten leven, alsmede de dieren hogerop in de voedselketen. Het verwijderen van het stikstofoverschot leidt echter ook tot afvoer van andere nutriënten, in een situatie waarin planten toch al tekorten ondervinden. Bij een voortgaande hoge stikstofdepositie is de reductie van de hoeveelheid stikstof bovendien maar tijdelijk, terwijl de afvoer van andere nutriënten blijvend is. Ook hier schuilt een dilemma, omdat de afvoer van stikstof tegelijk de effecten van verzuring versterkt.

#### Integratie van anti-verzurings- en vermestingsmaatregelen

Een conclusie uit de voorgaande probleemanalyse kan zijn dat anti-verzuringsmaatregelen en het verwijderen van stikstof goed kunnen samengaan, omdat ze de dilemma's die bij de afzonderlijke maatregelen gelden, (deels) opheffen. De nutriënten die als gevolg van de verzuring in het organisch H-profiel van de bodem liggen opgeslagen en die tot verruiging leiden als de zuurgraad wordt hersteld, worden deels weggenomen als tegelijkertijd stikstof (met andere nutriënten) wordt afgevoerd. De onbedoelde afvoer van de andere nutriënten kan door het toedienen van bufferstoffen teniet worden gedaan, ofwel door het opgebrachte materiaal zelf of door de versnelde strooiselafbraak bij een hogere pH. In 2012 is er een kleine OBN-proef ingezet in het Roekelse Bos bij Ede om dit spoor te verkennen (figuur 1). De proef in drie herhalingen met vakken van 7 bij 7 meter vond plaats in een open grove dennenbos met een spaarzame ondergroei van berk en eik. Op twee manieren is er stikstof verwijderd: plaggen tot op de minerale bodem (volledige verwijdering) en 'oprollen' van de bosbes die in de strooisellaag wortelde waarbij de

overige organische stof is blijven liggen (gedeeltelijke verwijdering). Als anti-verzuringsmaatregel is bekalkt in een concentratie van 3 ton Dolokal per hectare. Het plaggen is niet als potentiële maatregel bedoeld, maar alleen ten behoeve van het experiment uitgevoerd. In deze opzet kunnen de effecten van stikstofverwijdering en het aanbrengen van bufferstoffen afzonderlijk en in hun onderlinge interactie worden bekeken.

#### Resultaten Roekelse Bos

Uit de proef bleek in 2021 in de eerste plaats dat bekalken nauwelijks effect had op de zuurgraad van de bodem als er niet ook strooisel en humus was verwijderd. De oorzaak is dat er naast tamelijk sterke zuren, die je met een pH-meter meet, ook een grote voorraad zwakke zuren in de bodem zit die verhoging van de pH afremmen. De met pH-zout gemeten hoeveelheid zuur in een sterk verzuurde bosbodem is vaak maar één tot enkele procenten van de totale zuurlast. In de tweede plaats bleek dat de verwijdering van organische stof zeer effectief was om de stikstofvoorraad terug te dringen (zowel ammonium als nitraat). Bekalken had ook een groot effect op het terugdringen van ammonium. De hoeveelheid aluminium werd door beide maatregelen verlaagd en het grootste effect trad (dus) op bij een combinatie van de maatregelen. Plantbeschikbaar fosfor werd weliswaar verlaagd door de afvoer van organische stof, maar weer verhoogd door de bekalking. Waarschijnlijk was dit het gevolg van een betere verteringsefficiëntie, waardoor er meer fosfor beschikbaar kwam uit het organisch materiaal. In de gecombineerde behandeling van bekalking met gedeeltelijke strooiselverwijdering trad er geen negatief effect op ten aanzien van de P-beschikbaarheid.

## Onderweg naar herstel van

Calciumgebrek in de botten van zangvogels maakt het herstel van ernstig verzuurde en vermeste bossen zeer urgent. Maar uiteindelijk komt het erop aan om nieuw leven in het boscysteem in zijn totaliteit te blazen waardoor bomen blijven leven, bloeiende kruiden terugkeren en de rijk geschakeerde insectenwereld zich herstelt. Combinaties van maatregelen leiden tot integrale oplossingen.

tekst en foto's Arnold van den Burg (Biosphere Science Productions)

> In de voorbije decennia is stikstofdepositie de grootste veroorzaker van de vermesting en verdere verzuring van bosbodems. Generaliserend kan gesteld worden dat hoe nutriëntenarmer de bodem is, des te groter de negatieve doorwerking van stikstof is. Nutriëntenarme bodems zijn verzuringsgevoeliger, stikstof is er van nature vaker beperkend voor de plantengroei en de onbalans tussen stikstof en andere voedingsstoffen treedt hier bij verhoogde stikstofdepositie sneller op. Ook in bossen van iets rijkere standplaatsen zijn de effecten inmiddels zwaarwegend geworden, wat zich uit in bijvoorbeeld sterfte van bomen en calciumgebrek bij zangvogels (dit laatste bij tot 47 procent van de nesten in kool- en pimpelmeespopulaties op de Zuidwest-Veluwe, 33 procent op de Noord-Veluwe en 67 procent op de Utrechtse Heuvelrug). Behalve calciumgebrek komt in de bodem ook gebrek aan andere nutriënten (bijvoorbeeld magnesium en kalium) voor, is er sprake van aluminium-, ammo-

nium- en H<sup>+</sup>-toxiciteit en neemt de verteringsefficiëntie van strooisel af waardoor het recyclen van nutriënten in de bodem trager verloopt. Zolang nutriënten zich opstapelen in niet verder afbreekbare humus (de H-laag in het humusprofiel) versterkt dit de nutriëntentekorten in planten. Ook de afname van mycorrhiza's zal onder invloed van verzuring en hoge stikstofgehalten verder bijdragen aan het optreden van tekorten van voedingsstoffen in planten.

#### Dilemma's

In droge bossen is er meestal geen natuurlijk mechanisme, zoals via grondwater, overstroming of depositie vanuit de lucht, dat verloren gegane bufferstoffen terugbrengt. Verdere successie van een verzuurd bos leidt dan ook tot een bostype dat door verzuring gedomineerd blijft. Als een bodem eenmaal ernstig is verzuurd (pH-zout onder de 3, vaak zelfs onder 2,5), kan dit alleen worden

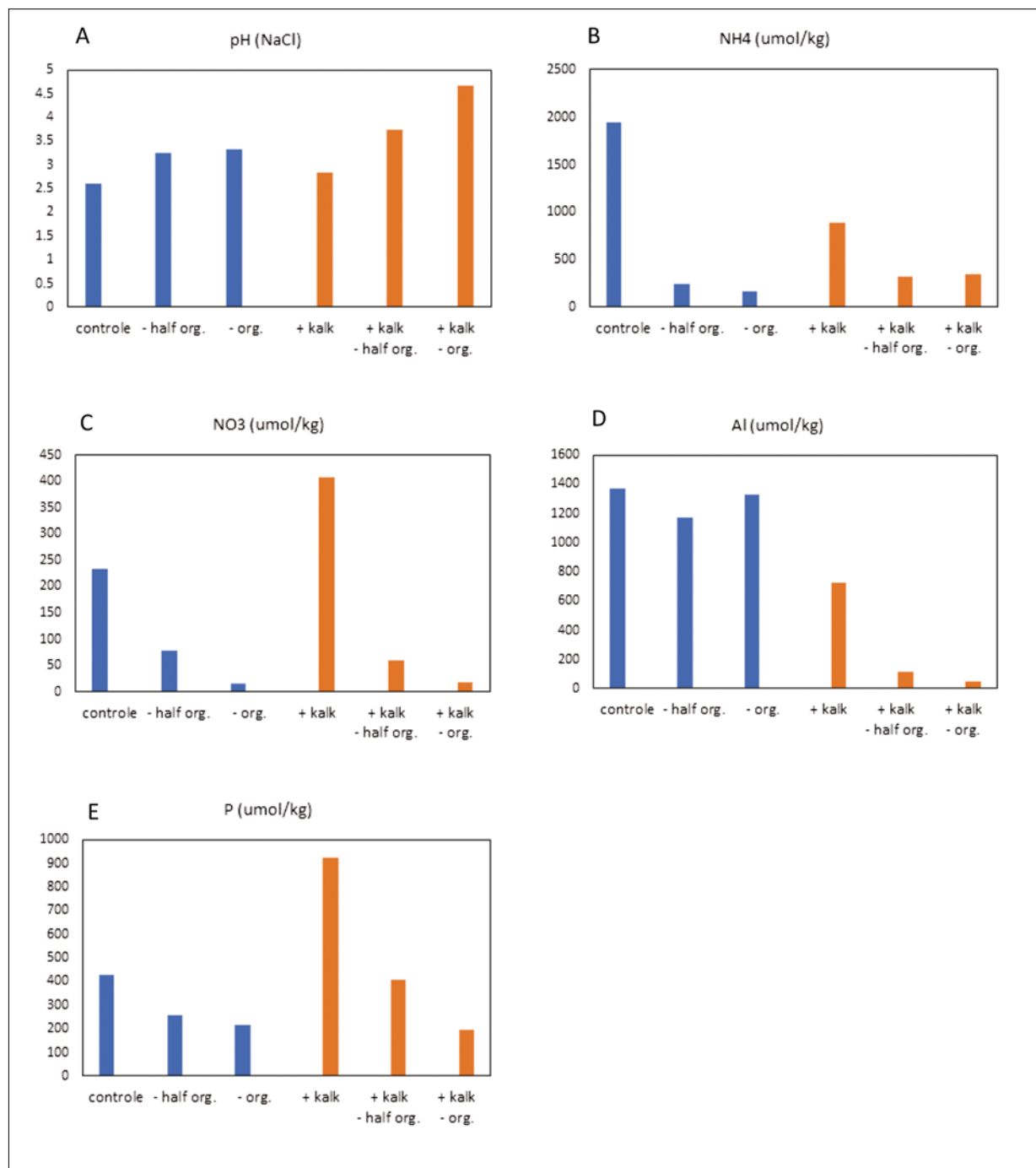
## droge bossen op zandgrond



Zwijnen zijn omwoelers van de bodem en daarmee ook natuurlijke strooiselverwijderaars. Met voldoende buffering worden deze plekken door kruiden gekoloniseerd.

#### Wat is de kwaliteit van mijn bos(bodem)?

Voor Staatsbosbeheer wordt een leidraad ontwikkeld waarmee beheerders zelf de bodemkwaliteit van hun bosgebied kunnen bepalen. Er bestond al een basisdocument met achtergronden, maar dat wordt nu in de leidraad teruggebracht tot handzame instructies voor de praktijk. Voor bepaling van de bodemkwaliteit gaat het bijvoorbeeld om informatie over en inzicht in de geologische oorsprong, de eventuele invloed van (lokaal) grondwater, bodemprofielen, pH-metingen en plantensoorten waarvan de aanwezigheid indicatief is.



**Figuur 1.** Resultaten van de stikstofverwijderings- en bekalkingsproef in het Roekelse Bos bij Ede. blauw: controle en bodembewerking oranje: dezelfde behandelingen maar gecombineerd met kalkgift - half org.: toplaag van organische stof (met de vegetatie) verwijderd - org.: geplagd tot op de minerale bodem.

Na strooiselverwijdering en bekalking was struikheide de dominante plantensoort, met vooral bij gedeeltelijke strooiselverwijdering ook heischrale soorten als mannetjesereprijs en muizenootje. Uitsluiting van begrazing was in deze kleine proefopzet nodig om deze soorten tot bloei te laten komen. In geen van de proefplots was een dominantie van nitrofiële planten ontstaan. De behandelingen hadden in deze kleine proef geen duidelijk negatief of positief effect op de hoofdgroepen van de bodemfauna. In deze kleine proef heeft de combinatie van stikstofverwijdering en anti-verzuringmaatregelen goed uitgedaan voor de bodemchemie en de ondergroei van het bos, wat aanleiding is voor verdere proeven. Deze maatregel lijkt op de natuurlijke activiteiten die wilde zwijnen

kunnen laten zien. In de Noord-Ginkel (ook op de Zuidwest-Veluwe bij Ede) is bijna vier jaar geleden 3 ton schelpgruis per hectare uitgestrooid en is inmiddels een sterke toename te zien van kruidachtige planten in de ondergroei, met name op plekken die door zwijnen zijn omgewoeld. Een grootschalige kleinschalige toepassing van gedeeltelijke strooiselverwijdering en bekalken kan voor het functioneren van het bosecosysteem al van grote waarde zijn.

**Kalk en steenmeel**  
Hoewel er tegenwoordig veel aandacht is voor steenmeeltoediening bij het tegengaan van bodemverzuring, is het de vraag of dit in alle gevallen de beste optie is, vanwege potentiële problemen vanuit de ecologie. Vogels eten geen

steenmeel waardoor het calciumgebrek bij vogels dus (langer) blijft voortbestaan. Het is dus sterk aan te bevelen om eerst te onderzoeken of vogels in een gebied last hebben van calciumgebrek, en zo ja in welke mate, voordat de keuze tussen steenmeel of kalk wordt gemaakt. In de tweede plaats bestaan veel steenmelen uit om en nabij de 15 procent aluminiumzouten, die onder zure omstandigheden ook in oplossing gaan (tabel 1). Normaal gesproken bevindt het opgeloste aluminium zich voornamelijk in de minerale bodem, maar door steenmeeltoediening komt dit ook in de strooisellaag terecht. Dit geeft een (weliswaar tijdelijke) stijging in de aluminiumgehalten in het strooisel en humus, waarvan onduidelijk is of het schade doet aan schimmels en fijne plantenwortels in de organische laag.



**A. Schelpgruis in de kous**



**B. Binnenkant van de kous**

**Figuur 2.** Kousjes met schelpgruis zijn ingegraven in de F-laag van het humusprofiel van een oud beuken-eikenbos om de oplosbaarheid van het schelpengruis te meten. Precies daar waar het gruis in de kous zit, groeien wortels door de kous heen (A). Aan de binnenkant van de kous is te zien dat de wortels hier heel goed door ectomycorrhiza worden bezet.

Ook werkt het de werking van het steenmeel als anti-verzuringmaatregel tegen, doordat het de uitspoeling van basische kationen uit het strooisel bevordert.

**Basische anionen**

Het is bovendien de vraag of steenmelen niet te weinig basische anionen bevatten of in voldoende mate kunnen verwerken om effectief de verzuring tegen te gaan. Dit is te ondervangen door de dosering verder te verhogen, maar dit leidt mogelijk tot het inbrengen van zoveel fijne deeltjes (een productafhankelijke leemfractie) en ander gebiedsvreemd materiaal, dat de gebiedseigenheid van de bodem in het geding komt.

Bij kalk (mits niet overgedoseerd) lost al het materiaal op waardoor er geen niet-gebiedseigen producten achterblijven. Bij schelpgruis kan dit proces lang duren, omdat de chemische oplosbaarheid slechts enkele procenten per jaar is. Zodra mycorrhizaschimmels en fijne wortels zich fijn vertakken rond het schelpgruis, neemt de oplosbaarheid sterk toe (figuur 2).

Het bestrijden van verzuring met kalk en het aanvullen van andere nutriënten met een steenmeel lijken genoemde risico's te kunnen ondervangen. Hierbij is het goed mogelijk dat van de deficiënties die vooraf zichtbaar zijn, een deel wordt verholpen door een betere strooiselomzetting en/of het beter functioneren van mycorrhizaschimmels als gevolg van de bekalking.

**Rol van rijkstrooiselsoorten**

Boomsoorten die gemakkelijk verteerbaar strooisel leveren met relatief veel basische kationen, hebben een duidelijke, positieve invloed op de strooiselomzetting in de zone waar ze hun meeste blad deponeren. Hierom worden dergelijke rijkstrooiselsoorten (denk aan linde, esdoorn en Amerikaanse vogelkers) als mogelijke remedie gezien tegen de verzuringproblematiek. Soorten als beuk en eik, die van nature op voedselarme bodems voorkomen, leveren minder gemakkelijk verteerbaar strooisel, dat door de productie van humuszuren ook aan verdere bodemverzuring zou bijdragen. Ook dit blad bevat echter basische kationen, waardoor de basenverzadiging niet veel lager kan worden dan 10 procent, ook niet als de pH verder daalt. Van nature zure referentiebossen zonder hoge stikstoflast aan de noordkant van het Centraal Massief in Frankrijk (Vakblad #193, maart 2023) laten echter zien dat niet de boomsoorten, maar de ondergrond bepaalt wat er met het strooisel gebeurt. Als de bodem voldoende is gebufferd, ook al is dat aluminiumbuffering, wordt ook het strooisel van eik en beuk goed omgezet, treedt er geen stapeling van strooisel op en vormt zich ook in zeer oude bosbodems geen H-laag. Als de vertering goed verloopt, vormen zich ook veel minder humuszuren, waardoor de pH niet heel sterk daalt. Zure, maar tegelijkertijd gebufferde bossen houden zichzelf op deze manier in stand. In Nederland zijn de bosbodems echter niet bestand gebleken tegen de hoge antropo-

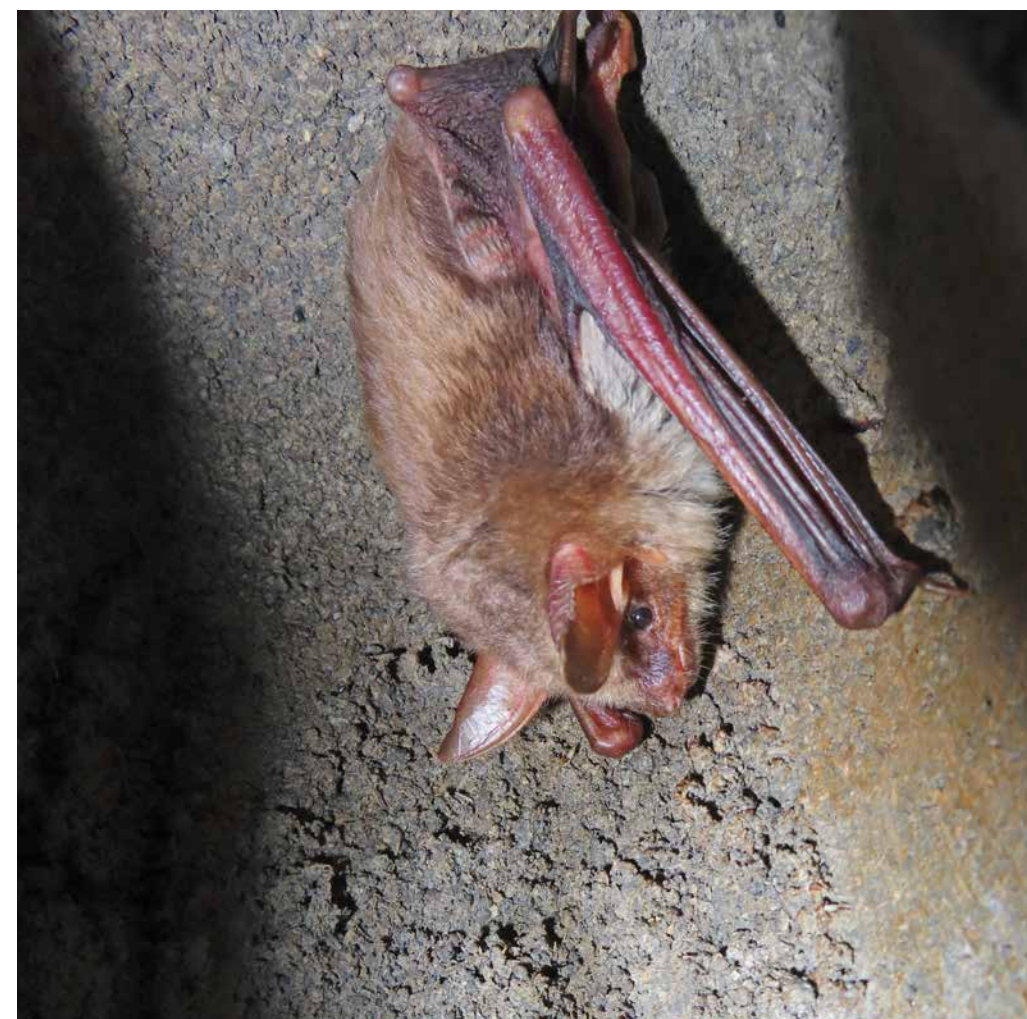
**Tabel 1.** De samenstelling van enkele steenmeel en andere kalkgiften. Hoewel het aandeel basen zeker een bijdrage kan leveren, kan onder sterk zure omstandigheden in het strooisel het – hier normaal gesproken afwezige – aluminium en ijzer mobiel worden. De meest aanwezige basen staan per product bovenaan, de minst aanwezige onderaan.

<sup>1</sup> Gegevens van producent.

<sup>2</sup> Joost Vogels, Maaïke Weijters, Huig Bergsma, Roland Bobbink, Henk Siepel, Jap Smits, Leontien Krul (2018): Van bodemherstel naar herstel van fauna in een verzuurd heidelandschap, De Levende Natuur 119(5), pp 200-204.

<sup>3</sup> Gegevens van Wikipedia.

Naam	Samenstelling	opmerking
Eifelgold (lavameel) <sup>1</sup>	silicium SiO <sub>2</sub> 43,5%, aluminium Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 13,9%, calcium CaO 11,7%, ijzer Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 10,8% magnesium MgO 9,0% natrium Na <sub>2</sub> O 3,1% kalium K <sub>2</sub> O 3,5%, titaan TiO <sub>2</sub> 2,7% fosfor P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0,5%, Overige sporenelementen: kobalt Co, koper Cu, molybdeen Md, zink Zn, vanadium Vn, nikkel Ni, chroom Cr.	Product uit groeven van uit gestolde lava gevormde gesteenten uit de Eifel
Biolit <sup>2</sup> (mengsel)	silicium SiO <sub>2</sub> 52,5% aluminium Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 14,9% ijzer Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 9,6% magnesium MgO 4,5% calcium CaO 4,0% natrium Na <sub>2</sub> O 3,4% kalium K <sub>2</sub> O 2,0% titaan TiO <sub>2</sub> 2,0% fosfor P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0,8% Overige sporenelementen: Mangaan Mn, zink Zn, koper Cu, kobalt Co, nikkel Ni, lood Pb	Biolit bestaat uit een gepatenteerd mengsel van natuursteen-granulaat van natuurlijke materialen uit verschillende Duitse groeves. De importeur wil de samenstelling van het granulaat niet vrijgeven.
Vulkatec <sup>2</sup>	silicium SiO <sub>2</sub> 43,3% aluminium Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 14,1%, calcium CaO 11,6%, ijzer Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 11,3%, magnesium MgO 9,5% kalium K <sub>2</sub> O 3,4% natrium Na <sub>2</sub> O 3,0% titaan TiO <sub>2</sub> 2,9% fosfor P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0,6% Overige sporenelementen: Mangaan Mn, zink Zn, nikkel Ni, koper Cu, kobalt Co, lood Pb	Sterk aan Eifelgold verwant product uit de Eifel (Burgpohl)
Lurgi <sup>2</sup>	silicium SiO <sub>2</sub> 47,0% aluminium Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 18,4% ijzer Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 9,6%, calcium CaO 7,1%, magnesium MgO 3,5% natrium Na <sub>2</sub> O 5,7% kalium K <sub>2</sub> O 5,2% titaan TiO <sub>2</sub> 2,2% fosfor P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0,2% Overige sporenelementen: Mangaan Mn, zink Zn, nikkel Ni, kobalt Co, koper Cu, lood Pb	Noorse vorm van lavameel
Dolokal (high Mg) <sup>2</sup>	calcium CaO 30,2% magnesium MgO 19,9% silicium SiO <sub>2</sub> 2,6% aluminium Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,8% ijzer Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,8% fosfor P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0,1% Overige sporenelementen: Mangaan Mn, zink Zn, lood Pb, nikkel Ni, koper Cu, kobalt Co, Cadmium Cd	
Dolokal (low Mg) <sup>2</sup>	calcium CaO 41,9% magnesium MgO 6,9% silicium SiO <sub>2</sub> 6,8% aluminium Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1,0% ijzer Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,5% fosfor P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0,1% Overige sporenelementen: Mangaan Mn, zink Zn, lood Pb, nikkel Ni, koper Cu, kobalt Co, Cadmium Cd	
Schelpgruis <sup>3</sup>	Calciet en/of agroniet (calciumcarbonaat-kristalvormen CaCO <sub>3</sub> ) Conchioline (vergelijkbaar met chitine, eiwit)	



De valse vleermuis is in Nederland bijna verdwenen, maar in de Franse referentiegebieden wordt de soort regelmatig aangetroffen. De achterliggende oorzaak is onduidelijk.



De geschubde boleet komt in Nederland vooral voor in goed gebufferde, kalkrijke bossen, maar in de Franse referentiegebieden ook in zure bossen.

gene zuurlast, waardoor we nu extreem zure bosbodems hebben.

Om rijkstrooiselsoorten van betekenis te laten zijn bij het bosherstel is massale aanplant van dergelijke soorten in de huidige habitat-typen en leefgebieden nodig, waarbij het de vraag is of dat een reële slagingskans heeft of zelfs wenselijk is. Bovendien vereist het een lange adem, terwijl urgente problemen niet snel worden opgelost. En dan nog lijkt het resultaat onzeker, want ook in bossen waar bijvoorbeeld Amerikaanse vogelkers bijzonder algemeen voorkomt, hebben bodemverzuring en calciumgebrek bij vogels wijd om zich heen gegrepen. Bodemherstel door het aanbrengen van bufferstoffen gecombineerd met een gebiedspassend beleid rond rijkstrooiselsoorten die de bodemeigenschappen plaatselijk kunnen moduleren, is waarschijnlijk de beste keuze.

#### Waardering voor de zure bossen

De zure bossen in referentiegebieden in Frankrijk zijn vogelrijker en lijken vooralsnog ook vleermuisrijker (met valse vleermuis, Bechsteins vleermuis en bosvleermuis) dan meer gebufferde bossen in dezelfde regio. Waarschijnlijk komt dit door verschil in de strooisellaag en in de hoeveelheid voedsel die dat oplevert. Ook komen in de zure Franse referentiebossen plantensoorten en paddenstoelen voor die we in Nederland alleen kennen van kalkrijke bossen. In Nederland zijn de meeste zwak gebufferde bosgroeiplaatsen al doorverzuurd waardoor verzuringsgevoelige soorten zijn verdrongen naar de meest kalkrijke, goed gebufferde boscomplexen. Vanuit de vergelijking met de Franse bossen lijkt het erop dat voor de bodemkwaliteit de aanwezigheid van buffering en calcium er meer toe doet dan bijvoorbeeld de aluminiumconcentratie of de basenverzadiging.

Vanuit het Franse perspectief blijken de zure bossen zeer waardevol voor de biodiversiteit. Die waardering moet er uiteindelijk ook weer komen voor het zure Nederlandse bos. Hoewel een duurzaam resultaat van bosherstel daling vergt van de stikstofdepositie tot onder de kritische depositiewaarde (KDW), maken de urgentie en noodzaak het twijfelachtig of we daarop nog veel langer kunnen wachten. Om een eerste stap te zetten met het herstel van ernstig verzuurde bossen, lijkt een goed gedoseerde toepassing van kalk het meest voor de hand liggend, waarbij voor de vogels specifiek aragoniet-kalk is aan te bevelen. Afvoer van nutriënten, toepassing van steenmeel en rijkstrooiselsoorten zijn onderdelen van de ecologische gereedheidskist om het uiteindelijke succes te vergroten zodra ook de stikstofdepositie voldoende is gedaald.<

[bsp@upcmail.nl](mailto:bsp@upcmail.nl)