

Effecten van steenmeel op bodemleven in droge eikenbossen

— Jaap Bloem, Wim Dimmers, Marcel Polling, Arjen de Groot, Ivo Laros & Anjo de Jong (Wageningen Environmental Research), Evi Verbaarschot & Maaïke Weijters (Onderzoekcentrum B-WARE), Gert-Jan van Duinen (Stichting Bargerveen) & Leon van den Berg (Bosgroep Zuid Nederland)

Op de hogere zandgronden treedt verminderde vitaliteit en sterfte van eikenbomen op, vooral door verzuring en vermist. Toediening van steenmeel zou kunnen helpen tegen de nadelige effecten van verzuring. Daarom zijn in 2016 in Het Nationale Park De Hoge Veluwe en in het Mastbos (Breda) experimenten gestart met steenmeeltoediening. Na zes jaar onderzoek beschrijven we de belangrijkste effecten op de bodemchemie en het bodemleven, en de betekenis voor het beheer. Met name is gekeken naar pH, basenverzadiging en nutriënten in relatie tot fijne wortels van eikenbomen, micro-organismen en bodemfauna waaronder mycorrhizaschimmels en schimmelende microarthropoden. Bovendien werden de effecten van fosfortoediening en de toediening van bodemfauna met strooisel van donorlocaties onderzocht.

> Door atmosferische depositie van stikstof (N), en voorheen ook zwavel(S)-verbindingen, is de bodem zowel verzuurd als vermest. Door de verzurende depositie zijn kationen zoals calcium (Ca), kalium (K) en magnesium (Mg) uitgespoeld (afname basenbezetting) en is de beschikbaarheid van potentieel giftig aluminium (Al) verhoogd. Bovendien wordt de afbraak van organisch materiaal en het vrijkomen van mineralen (mineralisatie) geremd. Door de overmaat aan stikstof is de nutriëntenbalans verstoord. Een groot deel van de bossen op droge voedselarme zandbodems – veelal met zomereik – heeft te maken met deze problemen die doorwerken in de voedselketen, met verminderde boomgroei en sterfte tot gevolg. Het bodemleven is cruciaal voor de gezondheid van het bos. Bodemfauna versnipperd strooisel dat vervolgens wordt afgebroken door saprotrofe schimmels en bacteriën. Ectomycorrhizaschimmels groeien op de wortels en leveren water en nutriënten aan de plant in ruil

Figuur 1. De bodem onder een eikenboom op droog zand. Rechts onder ectomycorrhizaschimmels op fijne wortels. Links onder saprotrofe schimmeldraden tussen strooisel en zandkorrels. Linksboven een schimmelende mijt (*Oppiella nova*, fungivore grazer).



voor suikers. In voedselarme, zure bosbodems leven nauwelijks regenwormen en minder bacteriën, maar meer schimmels en schimmelers, met name mijten en springstaarten (microarthropoden). Deze kleine (circa 1 mm), maar talrijke microarthropoden (10.000 tot 100.000 per m²) spelen een essentiële rol bij de strooiselafbraak in droge bossen. Sommige soorten microarthropoden versnipperen strooisel en andere, de fungivoren, eten en verteren schimmelbiomassa. Ze stimuleren de strooiselafbraak en het vrijkomen van mineralen, waardoor zowel micro-organismen als de vegetatie beter kan groeien. Verzuring remt bacteriën sterker dan schimmels, maar bij pH-H₂O-waarden onder de 4,5 worden ook schimmels sterk geremd. Door verzuring zijn waarschijnlijk ook verschuivingen opgetreden in de samenstelling van de gemeenschap microarthropoden en hun rol bij de strooiselafbraak. Daarom is het belangrijk om te weten of en hoe het bodemleven hersteld kan worden.

Steenmeel experimenten
Het gebruik van steenmeel in droge bossen zou kunnen helpen tegen de nadelige effecten van verzuring. Steenmeel bestaat uit gemalen silicaatmineralen die calcium, magnesium en kalium kunnen leveren door verwerking. In projecten gefinancierd door het kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (OBN) en de provincies Noord-Brabant en Gelderland wordt onderzoek gedaan naar effecten op de bodemchemie en -ecologie. In 2016 zijn in Het Nationale Park De Hoge Veluwe en het Mastbos (Breda) proefvelden aangelegd, waarop twee soorten steenmeel zijn toegediend. Hierdoor zijn de buffering, basenverzadiging en pH verhoogd. Niet iedere steenmeel is hetzelfde, Eifelgold bevat drie keer zoveel Mg en drie keer zoveel P in vergelijking met Lurgi, dat later is omgedoopt tot Soilfeed. De eerste resultaten na 2,5 jaar (najaar 2018) lieten gunstige effecten zien op de hoeveelhe-

den fijne wortels van de eikenbomen en op de omzetting van ammonium in nitraat (nitrificatie), maar niet op ectomycorrhiza- en strooiselafbrekende schimmels. Rode regenwormen waren toegenomen, maar miljoenpoten in het Mastbos juist afgenomen. Er was geen effect op pissebedden en ook nog geen effect op mijten en springstaarten (figuur 2 en 3). Dit onderzoek zal in 2024 worden herhaald. Dan moet blijken of steenmeel op de middellange termijn schimmels en fungivoren bevordert, of eerder negatieve effecten heeft op ectomycorrhiza door verhoging van de beschikbaarheid van nutriënten zoals nitraat.

Steenmeel experimenten uitgebreid met toediening fosfor en bodemfauna

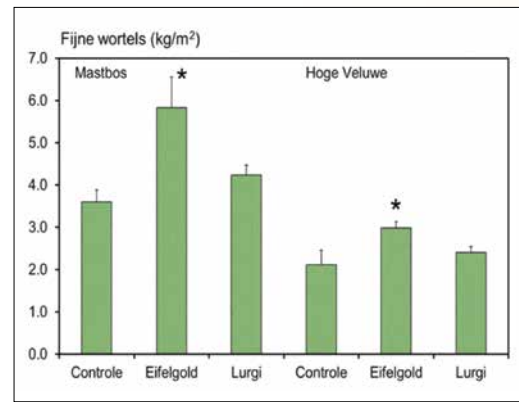
Mogelijke beperkingen voor microarthropoden werden onderzocht door in 2019 extra behandelingen met fosfor (P) en bodemfauna (via strooisel van Natura2000-donorlocaties met een meer natuurlijk oud eikenbos) toe te voegen in de proefveldjes die in 2016 met steenmeel (Soilfeed) zijn behandeld. Hierdoor zouden de nutriëntenonbalans, zoals een P-beperking als gevolg van een overmaat N in de voedselketen, en het ontbreken van verdwenen soorten kunnen worden verholpen.

De onderzoeksvragen waren of de microarthropodengemeenschap kan worden bevorderd door 1. toevoeging van extra P (2019) voor opheffing P-limitatie, 2. toevoeging van bodemfauna met donorstrooisel (2019) voor opheffing van de dispersiebelemmering en 3. toevoeging van steenmeel (2016), waarmee meer sporenelementen en basische kationen beschikbaar komen.

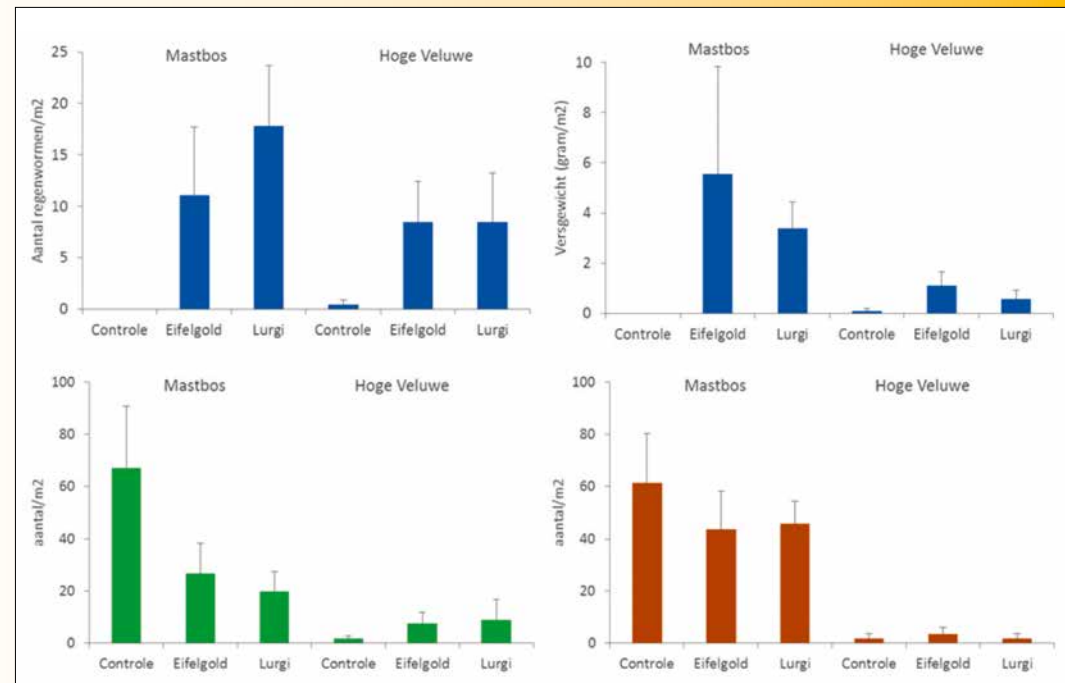
Ruim twee jaar na de toevoegingen van P en fauna werden in mei 2021 de microarthropoden geanalyseerd in het strooisel (organische laag) en de minerale bodem (0-10 cm). Hierbij zijn de soorten op basis van hun eetgewoonten ingedeeld in voedselgilden: fungivore browsers, fungivore grazers (voornamelijk mijten), herbivore browsers, herbivore grazers, omnivoren en predatoren. Browsers (zuigers) eten de celinhoud, dit kan de schimmelactiviteit remmen. Grazers (kauwers) verteren ook celwanden, en zijn het meest effectief voor recycling van nutriënten en stimuleren juist de schimmelactiviteit.

Herbivoren eten plantaardig materiaal, omnivoren gebruiken verschillende voedselbronnen en predatoren eten andere veelal kleinere ongewervelden. Er was geen duidelijk effect van steenmeeltoediening op de basenverzadiging. Wel verhoogde de steenmeelbehandeling (S) de pH met 0,4 eenheden in de strooisellaag en met 0,2 eenheden in de minerale bodem ten opzichte van de controle (C) zonder steenmeel (figuur 4). Toediening van P leidde tot hogere P-concentraties in de winter van 2019-2020. In de zomer van 2021 was P nog verhoogd in de minerale bodem, maar was er geen verschil meer in de strooisellaag. De seizoensvariaties met lagere zomerwaarden in de strooisellaag zijn mogelijk een gevolg

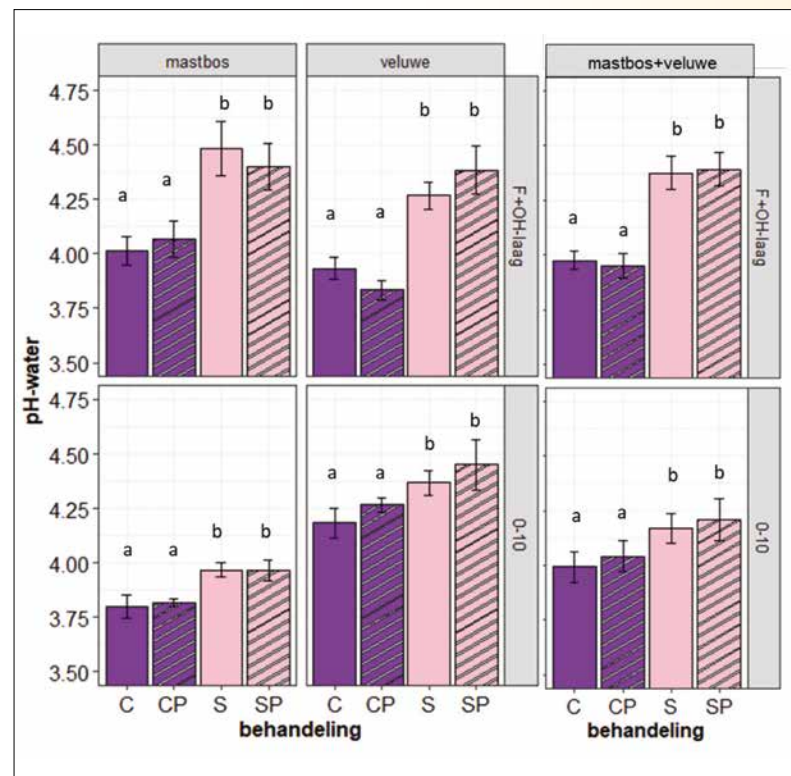
foto mijt Anna Seniczak, overige foto's Jaap Bloem



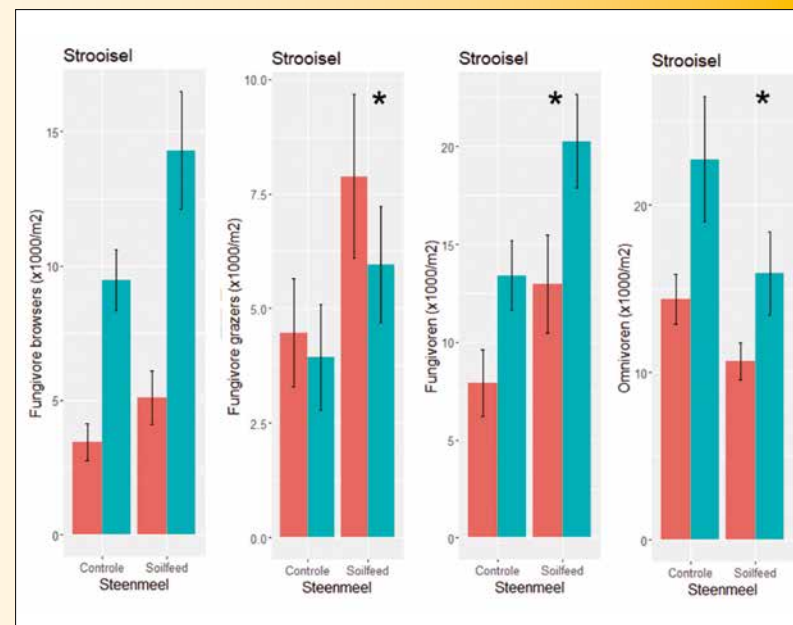
Figuur 2. Toename van de hoeveelheid fijne wortels met Eifelgold, één van de twee toegevoegde soorten steenmeel. Gemiddelde \pm standaardfout. Najaar 2018.



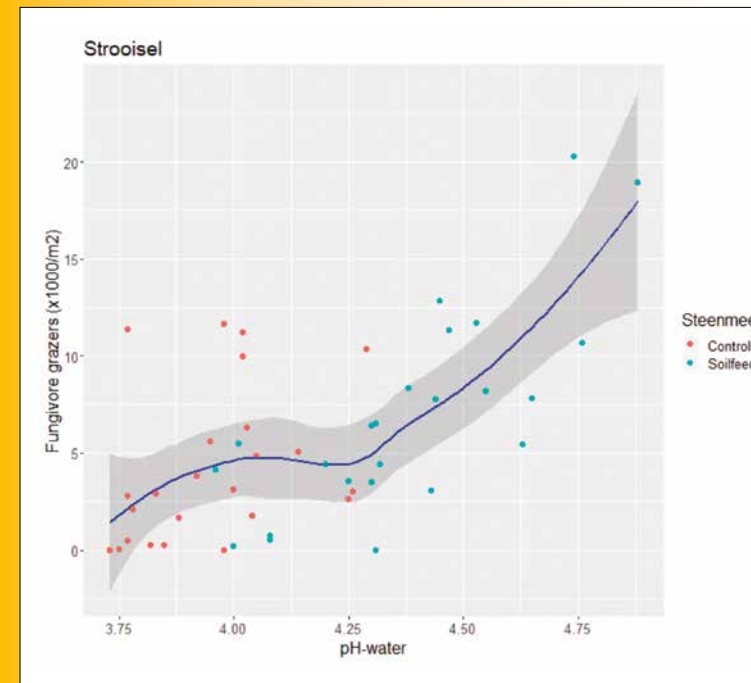
Figuur 3. Toename van regenwormen (boven), afname van miljoenpoten (linksonder) en geen effect op pissebedden (rechtsonder) met steenmeel (Eifelgold en Lurgi) in de strooisellaag. Najaar 2018.



Figuur 4. pH-water in de strooisel (F+OH) laag en de minerale bodem (0-10 cm diepte) in de per behandeling. C= controle, S= steenmeeltoediening, CP en SP = met P-toediening. Staafjes met de letter a verschillen significant ($p < 0,05$) van de staafjes met de letter b. Zomer 2021.



Figuur 5. Het effect van steenmeel op de aantallen fungivore browsers, fungivore grazers, fungivoren-totaal, en omnivoren in de strooisellaag. Voorjaar 2021.



Figuur 6. Relatie tussen fungivore grazers en pH-H₂O in de strooisellaag van veldjes zonder (controle) en met steenmeel (Soilfeed).

van biologische omzettingen, en daarmee een aanwijzing voor een actiever bodemleven. De totale aantallen microarthropoden lagen rond de 30.000 per m² in het Mastbos en 45.000 per m² op de Veluwe. De toediening van steenmeel, P en/of fauna had in 2021 geen effect op de totale aantallen, diversiteit (aantal soorten) en de voedselgilden van de microarthropoden. Steenmeel had in 2021, inmiddels vijf jaar na toediening, wel effect op de soortensamenstelling en leidde tot een verschuiving in de voedselgilden. In de strooisellaag waren er met steenmeel 50 procent meer fungivoren. De fungivore browsers waren het sterkst verhoogd op de Veluwe, en dan voornamelijk springstaarten. Op beide locaties was er een toename van fungivore grazers, voornamelijk mijten van de soort *Oppiella nova* (figuur 1). In de minerale bodemlaag waren de verschillen in aantallen fungivoren niet significant. De verhoogde aantallen fungivoren in de strooisellaag leidden niet tot hogere aantallen van de totale microarthropodengemeenschap, omdat de hoeveelheden omnivoren juist lager waren na toediening van steenmeel. Het aantal fungivore grazers in de strooisellaag correleerde positief met de pH, met een sterke toename bij pH-waarden hoger dan 4,3. Bij waarden lager dan pH 4,5 wordt de schimmeligroei sterk geremd, wat kan leiden tot minder voedsel voor de fungivoren.

Betekenis voor het beheer

Fosforlimitatie

Uit het onderzoek kwam duidelijk naar voren dat veranderingen in de P-beschikbaarheid geen effect hadden op de aantallen microarthropoden en de hoeveelheden van de verschillende

voedselgilden. Voor het beheer betekent dit dat er op dit moment geen aanwijzingen zijn dat het toedienen van fosfor effectief is voor het stimuleren van de strooiselafbraak en het herstellen van nutriëntenkringlopen. Daarnaast geven deze resultaten een indicatie dat het toedienen van bufferstoffen in eikenbos, waarbij de P-beschikbaarheid in de bodem lijkt af te nemen, binnen deze onderzoekstermijn niet direct schadelijk is voor de microarthropodengemeenschap. Een kanttekening hierbij is dat de P-limitatie mogelijk niet werd opgeheven met deze (beperkte) P-gift door een lage oplosbaarheid, of dat de microarthropodengemeenschap in alle onderzochte terreinen slecht ontwikkelde was. Om een beter inzicht te verkrijgen is het daarom van belang een goed referentiebeeld te vormen van de samenstelling van de microarthropodengemeenschap en bodemchemie van goed functionerende eikenbossen op zandgronden.

Enten van bodemfauna

Uit deze studie kwamen geen aanwijzingen dat het toevoegen van strooisel uit een meer natuurlijk oud eikenbos (enten) effect had op de totale aantallen microarthropoden en de aantallen van de voedselgilden zoals de fungivoren. Voor het beheer betekent dit dat het op dit moment niet kansrijk wordt geacht om de strooiselafbraak te stimuleren door het enten met bodemfauna op een intacte (niet geplagde) bodem met een bestaande strooisellaag.

Verbeteren van de bodembuffering met steenmeel

Steenmeel verhoogde de pH en de basenverzadiging, en Eifelgold ook de hoeveelheid

fijne wortels. Het belangrijkste effect voor de microarthropoden was de verhoging van de pH, die het sterkst was in de strooisellaag. De hiermee correlerende toename van fungivore grazers, met name vanaf een pH van 4,3, wijst op een hogere groei en afbraakactiviteit van schimmels. Hierdoor zou er meer voedsel beschikbaar zijn voor fungivoren, zowel browsers als grazers. Waar de prikkende en zuigende browsers het voorzien hebben op de celinhoud van levende schimmeldraden en daarmee een negatief effect hebben, zorgt de begrazing door fungivore grazers voor een volledige recycling van levende en dode schimmelbiomassa inclusief celwanden, en alle nutriënten die daarin zitten. Dit stimuleert de groei en afbraakactiviteit van schimmels en bacteriën, en uiteindelijk de nutriëntenbeschikbaarheid voor planten. Voor het beheer betekenen deze resultaten dat het verhogen van de bodem-pH lager dan 4,3 dit waarschijnlijk positieve effecten heeft op het bodemleven. Dit betreft de pH-water, en komt overeen met een pH-zout van 3,3. Uit het lopende onderzoek blijkt dat de bodem-pH met een steenmeelgift maar zeer gering toeneemt. De vraag is dan ook of de pH-toename die met steenmeel wordt behaald, voldoende is om in de bodem aanwezige belemmeringen voor het bodemleven als gevolg van de verzuring op te heffen. Dit pleit voor meer onderzoek naar combinatietoepassingen van steenmeel met een kalkproduct, waarbij wordt getracht de bodem-pH nog wat verder te verhogen. Momenteel wordt in dat kader onderzoek gedaan naar het combineren van steenmeel met schelpenkalk in de Ginkel bij Ede. Het op meer plekken inzetten van dergelijke combinatieproeven wordt aanbevolen.

Het is belangrijk bekalkingen en steenmeelgiften in bossen met beleid toe te passen. Bij een overdosering worden juist negatieve effecten op het bodemleven waargenomen en bestaat het risico op verzuuring van de ondergroei. Dan verdwijnen mycorrhiza, nemen saprotrofe schimmels af en nemen bacteriën de strooiselafbraak grotendeels over. Als dit te snel gaat komt er in te korte tijd te veel stikstof vrij. Daarnaast zijn alle nu lopende proeven relatief kortlopend in vergelijking met de levenscyclus van een bos en is het nog onvoldoende duidelijk in hoeverre de vitaliteit van eikenbomen en het bossysteem door steenmeel en/of bekalkingen worden verhoogd. Er is dan ook een grote behoefte aan meer inzicht in drempelwaarden, zowel aan de onderkant (remming van het bodemleven) als aan de bovenkant (overdosering waarbij ook negatieve effecten optreden) en langeretermijnonderzoeken naar steenmeel en/of bekalking in deze bossen. Het met beleid toepassen van bufferherstelmaatregelen waarbij de effecten goed worden gevolgd, is daarbij een waardevol middel om meer inzicht te verkrijgen.

jaap.bloem@wur.nl