Hierna volgend artikel is afkomstig uit:

Doelstelling van 'De Levende Natuur'
Het informeren over ontwikkelingen in onderzoek, beheer en beleid op het gebied van natuurbehoud en natuurbeheer, die van belang zijn voor Nederland en België. De artikelen zijn vooral gebaseerd op eigen ecologisch onderzoek, ervaring of waarneming van de auteurs.

De Levende Natuur verschijnt 6x per jaar, waaronder tenminste één themanummer.

U kunt zich abonneren via onze website:

www.delevendenatuur.nl/lezersservice.php

of deze bon opsturen naar:

Abonnementenadministratie
De Levende Natuur
Antwoordnummer 7086
3700 TB Zeist

Tel. 085 0407400
klantenservice@virtumedia.nl

vakblad voor natuurbehoud en -beheer, sinds 1896

De Levende Natuur

JA ik wil graag een abonnement op *De Levende Natuur*

naam: _____

adres: _____

postcode: _____

woonplaats: _____

telefoon: _____

e-mail: _____

Ik machtig *De Levende Natuur* om het abonnementsgeld af te schrijven van rekening:

bank/giro: _____

naam: _____

plaats: _____

datum: _____ handtekening:

Graag aankruisen:

- ☐ **proefabonnement** – € 13,- (drie nummers)
- ☐ **particulier** – € 38,- (NL + B) – overige landen € 45,-
- ☐ **instelling/bedrijf** – € 60,-
- ☐ **student/promovendus** – € 13,50*

** (max. vier jaar; graag kopie college- of PhD kaart bijvoegen)*
Na vier jaar gaat dit abonnement automatisch over in een regulier abonnement.

De prijsontwikkeling kan het stichtingsbestuur dwingen de tarieven aan te passen. Tevens bent u gerechtigd om uw bank opdracht te geven het bedrag binnen 30 dagen terug te boeken.



Foto 1. Een mull humusprofiel onder linde op een zandgrond (> 80 % zand) in het bomenpark in Heesch. (Foto: Ellen Desie)

Rijkstrooisel: kansen voor herstel van de nutriëntenkringloop in bossen

Bodemverzuring is alomtegenwoordig in onze bossen. De gevolgen, zoals het stilleggen van de nutriëntencyclus in de bodem en het verlies van nutrienten door uitloging, tonen zich ook boven de grond: de vitaliteit van het ecosysteem is aangetast. Een mogelijke herstelmaatregel is het inmengen van boomsoorten met een grote hoeveelheid nutriënten in het blad. Zulke rijkstrooisel-boomsoorten kunnen de nutriëntencyclus versnellen en daardoor de negatieve effecten van bodemverzuring verminderen en de kwaliteit van de humus verbeteren. Hoewel er al veel is geschreven over rijkstrooisel, is er weinig onderzoek naar wat rijkstrooisel nu exact is, of met andere woorden: welke eigenschappen in het herfstblad bijdragen aan het bodem verbeterend mechanisme. Deze studie poogt die vraag te beantwoorden, alsook een indicatie te geven welke boomsoorten kunnen worden ingezet om bodemverzuring te mitigeren op droge zandgronden.

Ellen Desie, Leon van den Berg, Bart Nyssen, Maaike Weijters, Gert-Jan van Duinen, Jan den Ouden, Karen Vancampenhout & Bart Muys

In bodems van talrijke Belgische en Nederlandse bossen bestaat onbalans in de nutriëntenhuishouding. Onze bossen op dekzanden zijn sterk verzuurd, er is sprake van een nijpend tekort aan basische kationen, en tegelijkertijd kampen ze met een enorme overvloed aan stikstof (De Vries et al., 2017). Deze penibele staat van de bodem is vooral een gevolg van menselijke invloed, zowel in het verleden als het heden (foto 2). Strooiselroof, overexploitatie, eenzijdige boomsoortenkeuze en atmosferische depositie van zwavel (S)- en stikstof (N)verbindingen hebben geleid tot een versnelde bodemverzuring (Augusto et al., 1998). Deze verzuring heeft verschillende effecten op de bodem, waaronder het versnelde verlies van basische kationen zoals calcium, kalium en magnesium in de wortelzone (kader 1). Deze kationen zijn nodig voor

plantengroei, en spelen een belangrijke rol in de zuurbuffering.
Deze processen remmen bovendien de omzetting van ammonium naar nitraat (nitrificatie), waardoor ammonium kan accumuleren in de bodem. Hoge concentraties ammonium kunnen toxisch zijn en veroorzaken tekorten aan kationen, zoals magnesium bij naaldbomen (Mehne-Jakobs & Gülpen, 1997), of resulteren in afname van schimmels die cruciaal zijn voor een goede opname van water en nutriënten (van Diepen et al., 2010). Wanneer doorgaande verzuring leidt tot het verlies van het grootste deel van de kationen, komt aluminium vrij. Dat is giftig voor vele levensvormen, waaronder bodemfauna zoals regenwormen. De negatieve gevolgen van deze degradatie zijn verregaand en kunnen leiden tot een verminderd functioneren van het volledige ecosysteem. De gevolgen van deze verstoorde nutriëntenbalans tonen zich niet enkel in de bodem, maar ook bovengronds en werden al eerder gerelateerd aan de lage vitaliteit van bossen, met als voorbeeld de steeds vaker optredende sterfte van zomereiken (Lucassen et al., 2014) en de mogelijke gevolgen in hogere trofische niveaus (Nijssen et al., 2014).

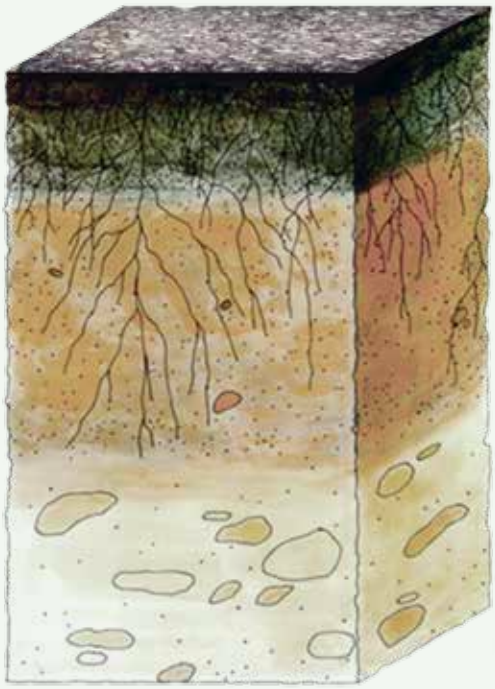
Beperkingen en kansen op zandgronden

Zandbodems worden gekarakteriseerd door weinig klei- en leemdeeltjes en hebben bijgevolg een lage kationenuitwisselingscapaciteit (CEC). Ze kunnen daardoor minder nutriënten en water vasthouden, wat zich vertaalt in een beperkte bodemvruchtbaarheid en een grote gevoeligheid voor droogte. Omdat de CEC van zandbodems veel kleiner is dan die van leem- en kleibodems, zijn deze bodems ook veel gevoeliger voor verzuring. Wanneer een bodem verzuurt, leidt de toevoer van waterstofionen (H^+) tot uitwisseling van basische kationen die op het bodemcomplex (CEC) vastzitten. Een zandbodem met lage CEC heeft per definitie minder basische kationen om de toevoer aan H^+ te neutraliseren. Deze H^+, samen met het in oplossing gekomen aluminium (Al^{3+}), zetten zich vervolgens vast op het bodemcomplex en de basische kationen spoelen uit en verdwijnen uit de nutriëntencyclus.
Hier staat tegenover dat voor herstel van het uitwisselingscomplex van een zandbodem ook maar een kleine hoeveelheid basische kationen moet toegediend worden om de H^+ en Al^{3+} geabsorbeerd op het bodemcomplex te verwijderen. Het herstel van het uitwisselingscomplex in zulke zandgronden is om deze redenen dichter binnen handbereik dan menig beheerder denkt.
Het is algemeen aangenomen dat op zand niet veel boomsoorten kunnen groeien. Toch weten we op basis van pollenanalyse dat er zo'n vijfduizend jaar geleden op hetzelfde substraat het Atlantische lindenwoud stond, een divers bos met eik, linde, iep, en hazelaar en waarschijnlijk uitgestrekte tapijten van bosanemoon (Hommel et al., 2007; Casparie & Groenman – van Waateringe, 1980). Actuele voorbeelden uit Duitsland (Sauenerwald en Colbitzer Lindenwald) en Denemarken (Holt Krat) tonen dat een meer uitgebreide boomsoortkeuze mogelijk is op arme zandgrond.

Rijkstrooisel, de sleutel tot herstel?

De huidige, jonge bossen (50 tot 120 jaar) op zand staan veelal op bodems met een verleden als heide of stuifzand. Daar beperkt het soortenpalet zich voornamelijk tot zomereik en berk als loofboomsoorten en grove den, Corsicaanse den, douglasspar en lariks als naaldboomsoorten. Behalve de berk zijn dit allemaal soorten met slecht afbreekbaar blad dat door de jaren heen accumuleert boven op de

Kader 1
De bosbodem



Strooisel wordt versnipperd door kleine bodemdiertjes. Springstaarten, mijten, en regenwormen kunnen hier een rol spelen. Vervolgens breken bacteriën en/of schimmels het strooisel af.

In een arme bosbodem stapelt strooisel boven de grond op en worden de nutriënten en basen niet doormengd in de bodem door regenwormen.

In een actieve bosbodem wordt strooiselafbraak ingemengd in de bovenste bodemlaag. Verdere doormenging van humus in de diepere bodemlagen door grote bodemdieren (vooral regenwormen) zorgt voor vastlegging van voedingstoffen en basen in stabiele humus.

Diepere wortels kunnen nutriënten die vrijkomen na verwering van mineralen uit deze laag opnemen.

Bij uitloging verdwijnen nutriënten naar diepe, vaak onbereikbare lagen via grondwater.



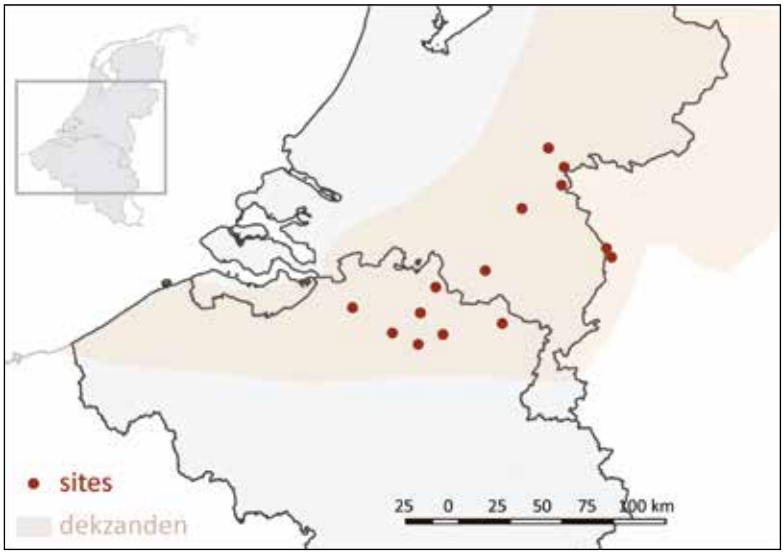


bodem (kader 1). In zulke dikke strooiselpakketten worden zuren geproduceerd die de onderliggende bodem verder verzuren en nutriënten doen uitspoelen (Ulrich, 1991; kader 2). Talrijke boomsoorten groeien trager in de zure humus en ook de kruidlaag blijft beperkt in diversiteit en ontwikkeling (Verstraeten, 2013).
Door het soortenpalet aan te vullen met soorten met mineraalrijk blad kan de inwerking van vers strooisel in de bodem verbeteren, waardoor de hoeveelheid organische stof in de bodem wordt opgebouwd (Reich et al., 2005; kader 2). Dit kan vervolgens leiden tot een verbetering van de voedingsstoffen- en waterhuishouding van de bodem en daarmee een bijdrage leveren aan het ontwikkelen van veerkrachtige bossen. Meer diversiteit in het bos door een alternatieve boomsoortenkeuze past tevens in het plaatje van geïntegreerd bosbeheer dat gericht is op zowel houtproductie, als natuurwaarden en recreatie.

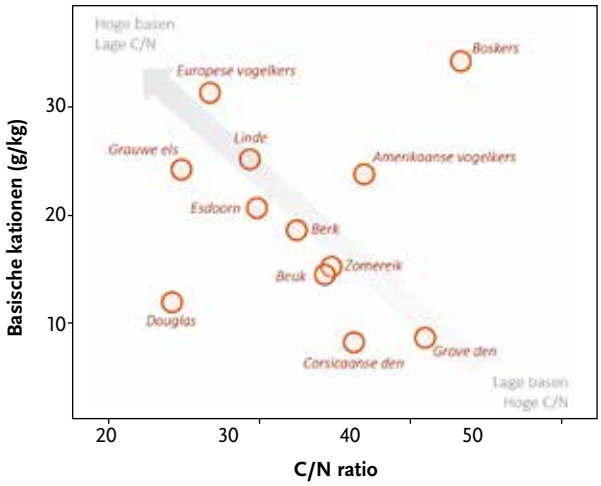
Onderzoeksvraag: wat maakt strooisel 'rijk'?
De aanplant van soorten met goed afbreekbaar strooisel werd al eerder genoemd als een mogelijke bosbeheermaatregel (Hommel et al., 2007) en binnen het bosbeheer wordt al langer de term 'rijkstrooisel' gebruikt – maar wat houdt dat nu eigenlijk in? Of nauwkeuriger gezegd: welk kenmerk maakt strooisel (voornamelijk blad) rijk of arm? Van oudsher staat een hoge strooiselkwaliteit synoniem voor een lage C/N ratio: niet te veel moeilijk verteerbare koolstofverbindingen (C) en voldoende stikstof (N) nodig voor de proteïnen van de afbraakorganismen. Dit was en is nog steeds zo in bossen waar stikstof de limiterende factor is (Fisher & Binkley, 2013). Maar is dat in de Nederlandse en Vlaamse bossen nog wel het geval?

Nieuwe resultaten
Het doel van dit onderzoek was om verschillende boomsoorten te vergelijken en hun effect op de bodem te kwantificeren. Daarbij werden de volgende onderzoeksvragen gesteld:
- Wat zijn karakteriserende strooiseleigenschappen van verschillende boomsoorten?
- Wat zijn de effecten van verschillende strooiseleigenschappen op de bodemchemie, humusontwikkeling en regenwormen van bosbodems op zand?
- Welke strooiseleigenschappen bepalen dan het 'rijk-strooiseleffect' en dus welke boomsoorten produceren rijkstrooisel?

Om deze vragen te beantwoorden werden vijftig bosbestanden bemonsterd, verspreid over veertien sites in België en Nederland (fig. 1; Desie et al., 2020). Er werd gekozen voor monoculturen om het strooiseleffect van twaalf verschillende boomsoorten zo zuiver mogelijk te kunnen evalueren. Enkel boomsoorten die dominant in de bovenetage van een bos kunnen voorkomen werden opgenomen in dit onderzoek. Er zijn ook struiken met rijkstrooisel (vb.: hazelaar), maar deze produceren waarschijnlijk niet voldoende strooisel om een bovenetage van arm strooisel (vb.: eik of den) te compenseren en de bodem te beïnvloeden (Van Nevel et al., 2014). In elke site werden twee tot twaalf monoculturen op korte afstand (10 tot 600 m) van elkaar bemonsterd om effecten van lokale bodem, klimaat, en



Figuur 1. Studiegebied van het project geïntegreerd bosbodemherstel met rijkstrooiselsoorten.



Figuur 2. De bladchemie van meest voorkomende boomsoorten. De waarde neemt alle observaties van de specifieke boomsoort mee en filtert het 'site-effect' weg. Een hoog aantal basische kationen en een lage C/N ratio duiden op een hoge kwaliteit van het strooisel. (Bron: Desie et al., 2020)

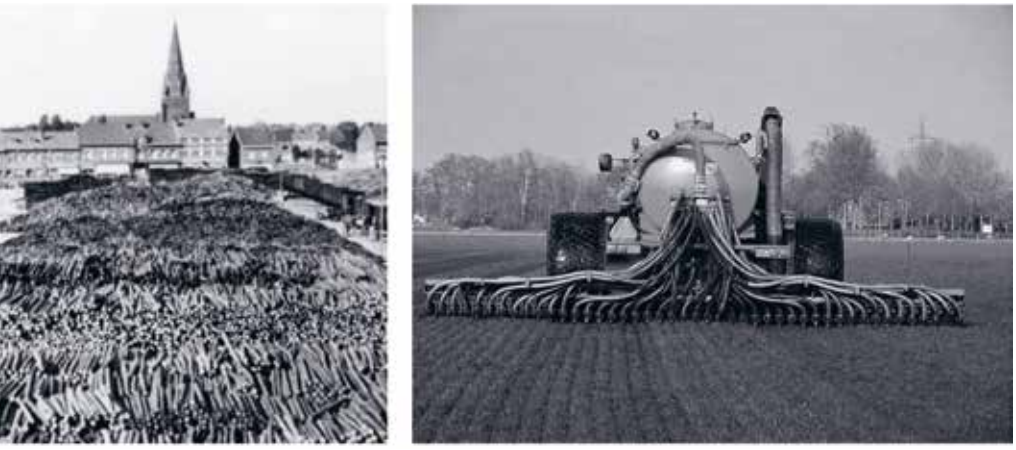
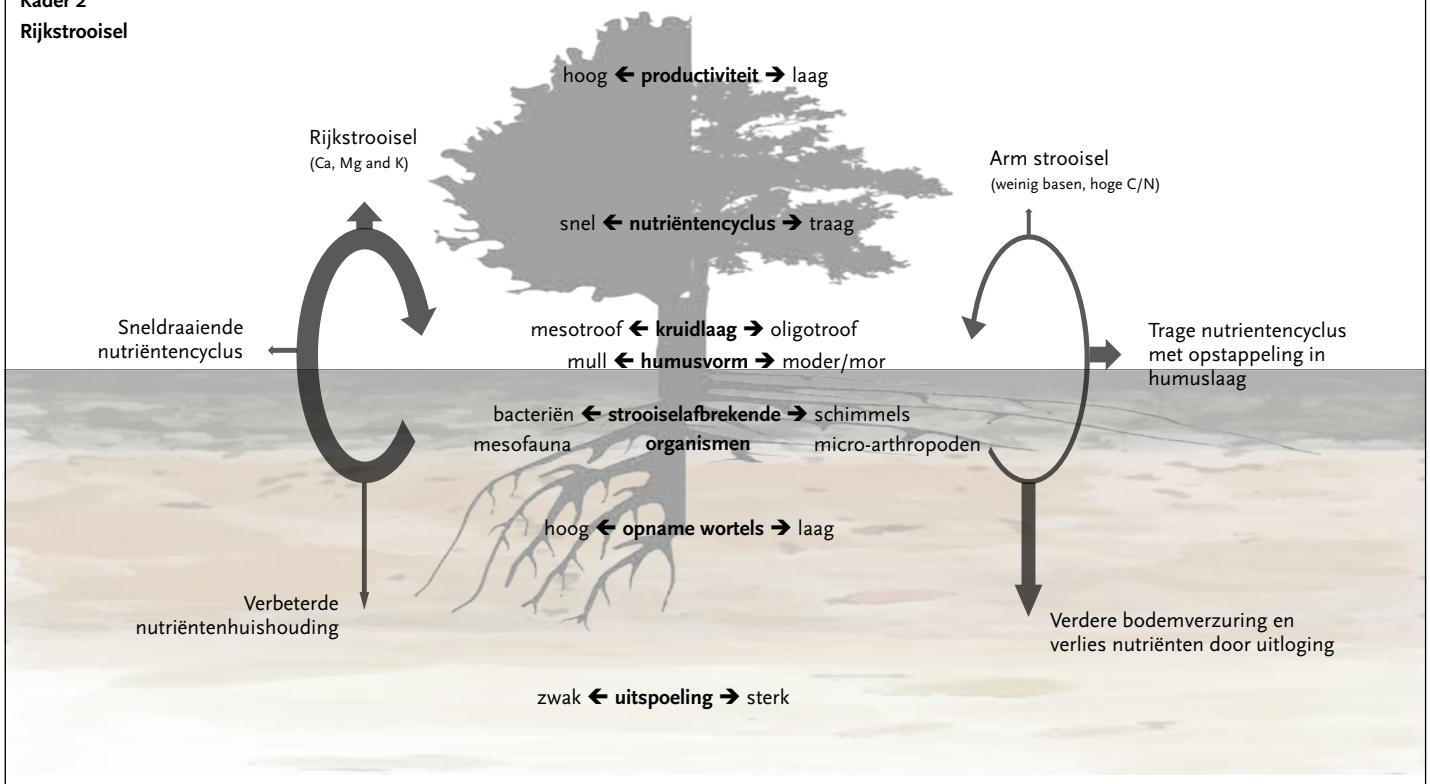


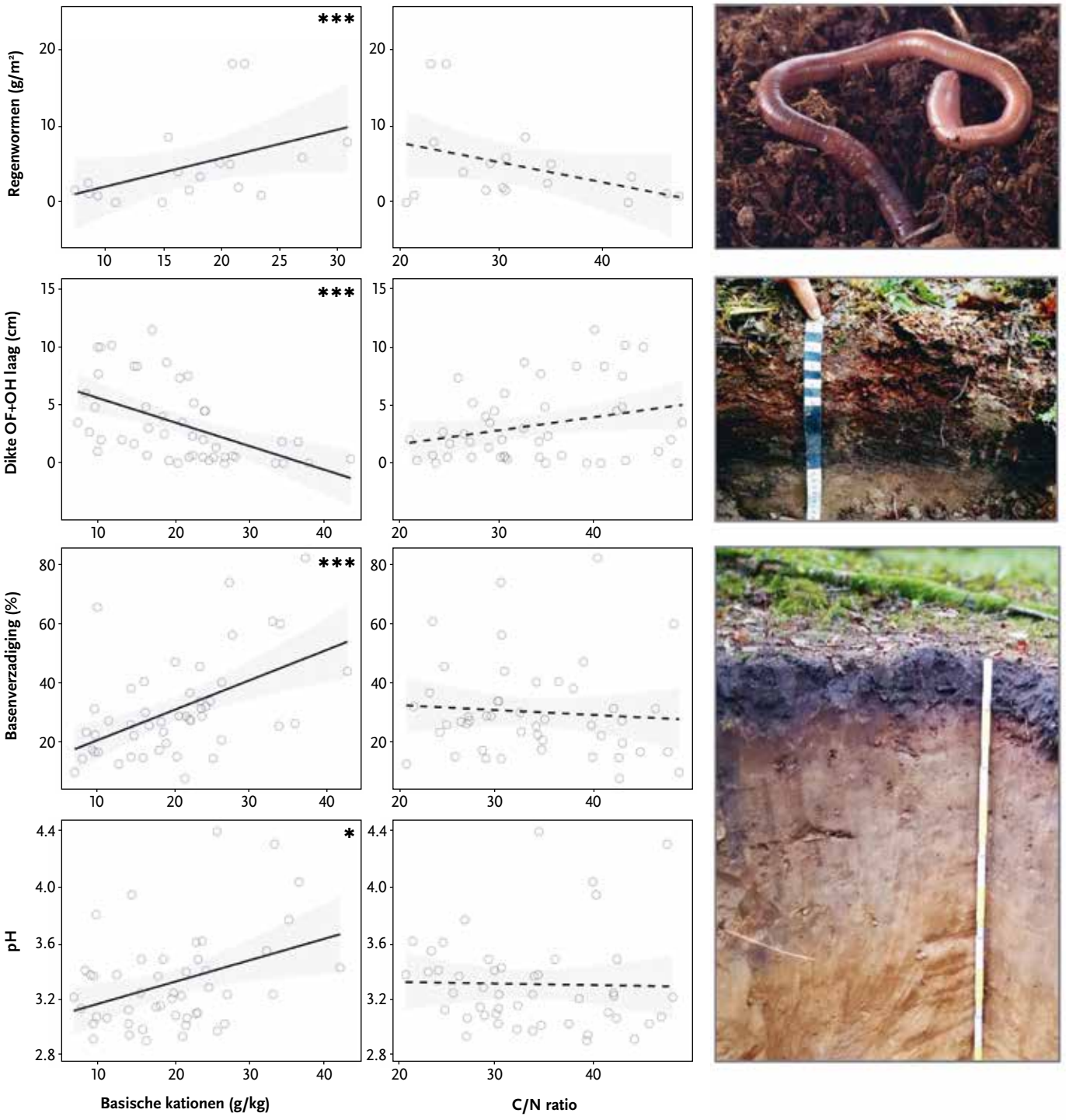
Foto 2. Voorbeelden van menselijke invloed op zandgronden door de tijd: heidecultuur, strooiselroof, plantagebosbouw en atmosferische depositie door landbouw en industrie.

voormalig landgebruik te elimineren. In elke monocultuur werden de bladchemie van vers strooisel, de humusprofielen en de bodemchemie geanalyseerd. De bodem werd bemonsterd door een mengmonster van vijf gutsprikken te nemen per monocultuur en deze bodemstalen werden vervolgens geanalyseerd op totale hoeveelheid en beschikbare hoeveelheid nutriënten. Het verse herfstblad werd in oktober 2018 opgevangen. Hiervan werden de C/N ratio en totale hoeveelheid nutriënten bepaald. Regenwormen werden bemonsterd op twintig plots over drie sites in het najaar van 2018 en er werd gekeken naar de biomassa. De bladchemie van vers strooisel verschilt van boomsoort tot boomsoort (fig. 2). Dit is onder meer sterk afhankelijk van de evolutionaire strategie om nutriënten op te slaan en te hergebruiken (Ponge, 2003). Over het algemeen werd een negatieve relatie tussen C/N ratio en basenconcentratie van het blad gevonden. Opvallend is dat enkele boomsoorten niet op die lineaire relatie tussen C/N en basenconcentratie liggen. Er zijn soorten die wel strooisel met een lage C/N ratio hebben, maar ook lage basenconcentraties (vb.: douglasspar), of hoge C/N en hoge basenconcentraties (vb.: boskers). Wanneer beide strooiselvariabelen worden gerelateerd aan bodembiota (biomassa regenwormen), de opbouw van de humuslaag (de dikte van de organische fragmentatie- en humuslaag) en de bodemchemie (pH en basenverzadiging) valt de verwaarloosbare invloed van C/N ratio op (fig. 3). Daarentegen waren basenconcentraties in het blad wel degelijk sterk gerelateerd met bodemchemie en bodembiota en hebben daarmee ogenschijnlijk een sterk effect op het ondergrondse bosecosysteem. De hoge basenconcentratie, voornamelijk calcium en magnesium in het strooisel van soorten als kers (boskers en vogelkers), linde, els en esdoorn heeft een positief effect op de regenwormbiomassa. Regenwormen gebruiken calcium in hun spijsvertering en er werd al eerder aangetoond dat magnesium, als gelijkaardig ion, diezelfde rol kan vervullen (Cesarz et al., 2016; Reich et al., 2005).
Wanneer er meer diepgravende regenwormen aanwezig zijn, wordt vers strooisel beter ingemengd in de bodem en accumuleert er minder bovenop in de humuslaag. Rijkstrooisel staat dus voor strooisel dat rijk is in basische kationen en daardoor het rijkstrooiselmechanisme, met regenwormen als motor, triggert. Dit kan leiden tot een zogenoemd mull humustype, getypeerd

Kader 2
Rijkstrooisel



Rijkstrooisel ligt aan de basis van de zogenaamde 'nutriëntenpomp'. De hoge concentratie basische kationen in het blad van rijkstrooiselsoorten promoot de aanwezigheid van regenwormen (hogere pH habitat en makkelijker verteerbaar voedsel) die zorgen voor een snelle strooiselafbraak en inmenging van organisch materiaal in de minerale bodem. Daardoor accumuleert er minder organisch materiaal bovenop de bodem en worden er minder organische zuren geproduceerd. Door de hogere pH en de goede menging wordt de bacteriële afbraak bevorderd waardoor nutriënten snel beschikbaar en opneembaar zijn voor fauna en uiteindelijk ook de vegetatie en bomen. Deze snelle flux waarbij nutriënten, zoals de basische kationen, in de biota circuleren wordt de nutriëntenpomp genoemd.



Figuur 3. Effect van bladchemie (totale hoeveelheid basische kationen en C/N ratio) op de biomassa regenwormen, humuslaag en bodemchemie. Significante relaties zijn weergegeven in een volle lijn en niet-significante relaties in een stippellijn. Het significantieniveau is weergegeven in de rechterbovenhoek: * $P < 0{,}05$ en *** $P < 0{,}001$. (Bron: Desie et al., 2020)

door een goede inwerking van blad in de bodem en de afwezigheid van een gehumificeerde OH-laag die wijst op trage afbraak, dat een indicatie is van hoge bodemvruchtbaarheid (Ponge, 2003; foto 1). Het onderzoek toont aan dat zelfs op zandgronden (> 85 % zand) onder rijkstrooisel-boomsoorten een mull humustype kan voorkomen en de basenverzadiging meer dan 30 % kan zijn, wat wijst op een snellere vertering van strooisel en een snel draaiend systeem met goede nutriëntenhuishouding. Het andere uiterste vinden we onder soorten met slecht afbreekbaar strooisel: een mor humustype. De afbraak is trager en er zijn geen regenwormen aanwezig om het verse strooisel in te mengen, waardoor een groot deel van de jaarlijkse bladproductie onafgebroken op de bodem blijft liggen (Ponge, 2003). Zoals eerder vermeld, veroorzaken dikke strooiselpakketten verdere verzuring en uitspoeling van nutriënten (Ulrich, 1991). Vele West-Europese zandgronden zijn als gevolg van atmosferische S- en N-depositie gekarakteriseerd door een tekort aan basische kationen en een overmaat aan stikstof. Deze specifieke context is een mogelijke verklaring voor de dominante invloed van basische kationen in de strooiselkwaliteit en -afbraak, ten opzichte van de voorheen aangenomen C/N ratio. Een soortgelijke bevinding werd gerapporteerd voor korstmossen, waar door hoge N-depositie en N-accumulatie C/N ratio's niet bruikbaar bleken als indicator voor N-depositie (Remke, 2010).

Wat betekent dit voor het bosbeheer?

Het blijkt wel degelijk mogelijk om de bodemvruchtbaarheid van zandige bodems



Bos met Amerikaanse vogelkers op onderzoekslocatie Dekkerswald. (Foto: Ellen Desie)

te verbeteren met rijkstrooisel in monocultuur. Monoculturen zijn in een context van klimaatverandering evenwel steeds minder interessant dan mengingen. De volgende vraag is dan hoeveel rijkstrooisel-bijmenging nodig is om een significante bodemverbetering te veroorzaken? Verder onderzoek moet ook trachten te beantwoorden welke boomsoort-mengingen het meeste potentieel hebben, rekening houdend met een multifunctioneel bos, en op welke bodems deze herstelmaatregel het meeste kans maakt. Niettegenstaande toont dit onderzoek enkele geschikte, inheemse kandidaat-boomsoorten voor het verbeteren van verzuurde bosbodems. Zo zijn linde, esdoorn, grauwe els, vogelkers en boskers, als boomsoorten met hoge basenconcentraties in hun herfstblad, goede soorten voor bodemherstel. De vestiging van jonge bomen van meer-eisende soorten op verzuurde zandgronden blijft echter steeds een uitdaging. Vervolgstudies zullen uitwijzen of beheerders beter kiezen voor geïntegreerd bodemherstel dat de (her) introductie en stimulering van rijkstrooiselsoorten combineert met gedeeltelijke compensatie van de eerder uitgeputte voorraad verweerbare mineralen via startbemesting of het traag werkende steenmeel.

Literatuur

Augusto, L., P. Bonnaud & J. Ranger, 1998. Impact of tree species on forest soil acidification. Forest Ecology and Management 105 (1-3): 67-78.

Casparie, W.A. & W. Groenman-van Waateringe, 1980. Palynological analysis of Dutch barrows. Palaeohistoria 22.

Cesarz, S., D. Craven, C. Dietrich & N. Eisenhauer, 2016. Effects of soil and leaf litter quality on the biomass of two endogeic earthworm species. Eur. J. Soil Biol. 77, 9-16.

Desie, E., K. Vancampenhout, B. Nyssen, L. van den Berg, M. Weijters, G. van Duinen, J. den Ouden, K. Van Meerbeek & B. Muys, 2020. Litter quality and the law of the most limiting: Opportunities for restoring nutrient cycles in acidified forest soils. Sci. Total Environ. 699, 134383.

Fisher, B. & D. Binkley, 2013. Chapter 14: nutritionmanagement. Ecology and Management of Forest Soils, Fourth edition John Wiley & Sons, Ltd.

Hommel, P., R. de Waal, B. Muys, J. Ouden & T. Spek, 2007. Terug naar het lindewoud: strooiselkwaliteit als basis voor ecologisch bosbeheer, KNNV uitgeverij.

Lucassen, E., L. Van den Berg, F. Ralf Aben, F. Smolders, J. Roelofs & R. Bobbink, 2014. Bodemverzuring en achteruitgang Zomereik. Landschap 31(4): 185-193.

Mehne-Jakobs, B. & M. Gülpen, 1997. Influences of different nitrate to ammonium ratios on chlorosis, cation concentrations and the binding forms of Mg and Ca in needles of Mg-deficient Norway spruce. Plant and Soil 188(2): 267-277.

Nijssen, M.E., M. F. Wallis de Vries & H. Siepel, 2017. Pathways for the effects of increased nitrogen deposition on fauna. Biological Conservation 212: 423-431.

Ponge, J.-F., 2003. Humus forms in terrestrial ecosystems: a framework to biodiversity. Soil Biol. Biochem. 35: 935-945.

Reich, P.B., J. Oleksyn, J. Modrzynski, P. Mrozinski, S.E. Hobbie, D.M. Eissenstat, J. Chorover, O.A. Chadwick, C.M. Hale & M.G. Tjoelker, 2005. Linking litter calcium, earthworms and soil properties: A common garden test with 14 tree species. Ecol. Lett. 8: 811-818.

Remke, E., 2010. Impact of atmospheric nitrogen deposition on lichen-rich, coastal dune grasslands. Radboud University Nijmegen.

Steffen, W., K. Richardson, J. Rockström, S.E. Cornell, I. Fetzer, E.M. Bennett, R. Biggs, S.R. Carpenter, W. De Vries, C.A. De Wit, C. Folke, D. Gerten, J. Heinke, G.M. Mace, L.M. Persson, V. Ramanathan, B. Reyers & S. Sörlin, 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science (80-.).

Ulrich, B., 1991. An Ecosystem Approach to Soil Acidification. Soil Acidity. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg: 28-79.

Diepen, L.T. van, E.A. Lilleskov, K.S. Pregitzer & R.M. Miller, 2010. Simulated nitrogen deposition causes a decline of intra and extraradical abundance of arbuscular mycorrhizal fungi and changes in microbial community structure in northern hardwood forests. Ecosystems 13(5): 683-695.

Verstraeten G., L. Baeten, P. De Frenne, M. Vanhellemont, A. Thomaes, W. Boonen, B. Muys & K. Verheyen, 2013. Understorey vegetation shifts following the conversion of temperate deciduous forest to spruce plantation. Forest Ecology and Management, 289: 363-370.

Summary

Nutrient rich litter: chances for recovery of the nutrient cycle in forests

The adverse effects of soil acidification are extensive and may result in hampered forest ecosystem functioning. Admixture of tree species with nutrient rich litter has been proposed to restore acidified forest soils and improve forest vitality, productivity and resilience. Such tree species boost nutrient cycling and mitigate soil acidification effects by improving humus and soil quality. But what makes rich litter rich? Or in other words, which properties of the leaf contribute to the soil improving mechanism? In this study we aim to answer that question and highlight the potential of certain tree species for the management measure 'admixing of rich litter' as to improve the nutrient status of acidified sandy soils.

Ellen Desie
KU Leuven
ellen.desie@kuleuven.be

Leon van den Berg
Bosgroep Zuid Nederland
l.vandenberg@bosgroepzuid.nl

Bart Nyssen
Bosgroep Zuid Nederland
b.nyssen@bosgroepzuid.nl

Maaike Weijters
Onderzoekscentrum B-WARE
m.weijters@b-ware.eu

Gert-Jan van Duinen
Stichting Bargerveen
G.vanDuinen@science.ru.nl
Jan den Ouden
Wageningen University & Research
jan.denouden@wur.nl

Karen Vancampenhout
KU Leuven
Karen.vancampenhout@kuleuven.be

Bart Muys
KU Leuven
Bart.muys@kuleuven.be