



Bart Nyssen, Rob van der Burg & Ellen Desie

Regime shift in bossen op zandgronden

LESA toont de kansen

Driekwart (74,8%; 263.218 hectare) van het Nederlandse bos staat op droog zand (Hekhuis & den Ouden, 2016). Deze bossen zijn meestal aangelegd op heiden en stuifzanden die op hun beurt ontstaan zijn door degradatie van het oorspronkelijke linden-eikenbos. Deze bossen zijn aangelegd met het doel om hout te produceren en te oogsten. Geleidelijk is men bossen ook steeds meer gaan waarderen om hun biodiversiteit en recreatiemogelijkheden. De eikensterfte, die recent weer de aandacht vraagt, drukt bosbeheerders met de neus op het feit dat deze bossen een zeer beperkte veerkracht hebben tegen veranderingen op landschapsschaal, zoals atmosferische depositie en klimaatverandering. In de provincie Noord-Brabant worden beheermaatregelen ontwikkeld die de veerkracht van deze bosccosystemen drastisch zullen verhogen. Bij het uitrollen van deze maatregelen speelt LESA een onmisbare rol.

'Arme' bossen waren ooit rijk

De Nederlandse bossen op zandgronden gaan vaak door voor dennenplantages waarin de biodiversiteit beperkt lijkt tot de plant- en diersoorten van de heiden en stuifzanden waarop de bossen ooit aangelegd werden. Buitenlandse referenties én Nederlands pollenonderzoek laten zien dat deze bossen ooit gemengde linde-eikenbossen waren bestaande uit linden, eiken, iepen, haagbeuken, esdoorns, essen, Gewone vogelkers en veel Hazelaar (Casparie & Groenman-van Waateringe, 1980). De kruidlaag bestond dan waarschijnlijk ook uit soorten als Bosanemoon (*Anemona nemorosa*), Dalkruid (*Maianthemum bifolium*),

Gewone salomonszegel (*Polygonatum multiflorum*) en andere typische bosplanten, net zoals dat vandaag nog het geval is op vergelijkbare bossen op zandgronden in het Pools-Wit Russische Bialowieza (foto 1). Dit Atlantische lindenwoud (Hommel et al., 2007) doet vermoeden dat een meer divers bos met een hogere diversiteit aan soorten mogelijk is op onze zandgronden dan het vrij algemeen aanvaarde eiken-berken climaxbos. De gemengde lindenbossen op zandgronden in het vrijwel ongestoorde laaglandbos van Bialowieza (oost Polen), en de resultaten van een eeuw bosvorming van het Sauenerwald (Brandenburg, Duitsland) op vergelijkbare zandbodems bevesti-

Foto 1. Tilio-carpinetum op diepe (door boring vastgesteld tot de gemiddeld laagste grondwaterstand op 3 m diepte) zandgrond in het strikt reservaat van Bialowieza (foto: Harm Smeenge).

gen dit vermoeden dat ecologisch rijke systemen met snelle nutriëntenkringlopen (mull humusvormen) haalbaar zijn (Bergmann et al., 2001). De afgelopen decennia is bij boscologen het inzicht gegroeid dat de bossen op droge zandgronden zich inderdaad kunnen ontwikkelen naar bossen met een hogere biodiversiteit en productie, indien enkele belangrijke obstakels (bodemdegeneratie en bodemverzuring, ontbreken van meerdere boomsoorten, bosplanten en -dieren) weggenomen kunnen worden. Door Bosgroep Zuid Nederland is in opdracht van de Provincie Noord-Brabant een project gestart dat bestaat uit onderzoek en experimentele maatregelen die de ontwikkeling richting gemengde linde-eikenbossen moeten bevorderen in de Provincie Noord-Brabant.

Bosdegradatie op zandgronden

Vroege agrarische activiteiten vanaf het neolithicum hebben op het Noord-Brabants dekzandlandschap geleid tot een transformatie van de ecologisch rijke Atlantische lindebos naar door eik gedomineerde bossen (Hommel et al., 2007). Daarop volgend agrarisch gebruik zorgde voor een

degradatie van bijna alle bossen op zandgrond naar relatief soortenarme heiden (Nyssen et al., 2013). Deze gronden kenmerken zich nu door een lage bodem pH en een lage basenverzadiging. Het moeder-materiaal onder de gedegradeerde bovengrond is echter nog intact: een kans voor systeemherstel. Dit moeder-materiaal varieert plaatselijk sterk in samenstelling en textuur en kan in Noord-Brabant ook leem en klei bevatten (fig. 1).

Deze veranderingen in landgebruik hadden uitgesproken effecten op de bodems: ten gevolge van de verzurende invloed van eiken en heide, het gebruik van strooisel uit de bossen en plaggen van de heide spoelde basische kationen (kader 1) uit en de oorspronkelijke bruine bosbodems podsoliseerden.

Ten gevolge hiervan daalde de pH van de bodem en nam het aluminiumgehalte toxische waarden aan die de flora en fauna (waaronder regenwormen) beperkte. Met het verdwijnen van de regenwormen stopte de bodemvermenging hetgeen leidde tot het stilvallen van de verticale nutriëntencycli in de bodem.

Vanaf de 18de eeuw leidde de toenemende vraag naar hout tot omvorming van heide naar bos. Deze herbebossing kwam eind 19de eeuw pas goed op gang door het inzakken van de wolprijzen en de toepassing van kunstmest. De nu onrendabele heiden werden omgevormd naar bos, meestal den-plantages waarvan het hout gevraagd

was door de opkomende kolenmijnbouw. Tegenwoordig domineren deze monoculturen van naaldbomen nog steeds op de zandgronden.

Het verzurende effect van het moeilijk afbreekbaar strooisel van deze bossen wordt sinds halverwege de vorige eeuw versterkt door de verzurende atmosferische depositie van SO₂ en NO_x en basische kationen spoelen nog steeds uit met toenemende nutriënten onbalans tot gevolg (Bobbink et al., 2012). In de meeste bodems wordt deze verzuring gebufferd door carbonaten, uitwisselbare kationen en vertering van silicaten (Ulrich & Sumner, 2012). In de gedegradeerde zandbodems onder de bossen is deze buffercapaciteit zeer beperkt en snel uitgeput door de grote input van zuren. Van nieuwe ziekten, zoals het eikensterven (Acute Oak Decline), wordt vermoed dat deze het gevolg zijn van de bodemverzuring (Lucassen et al., 2014).

Herstel van de nutriëntenpomp

Herstel van de vitaliteit en de biodiversiteit van de bossen op zandgronden begint bij het ongedaan maken van de verzuring. De

uitputting van de buffercapaciteit door de verzuring heeft een 'regime shift' tot gevolg van de basenbuffering naar een buffering door aluminium- en ijzercomplexen die de bodemchemie beheersen (Vitousek & Chadwick, 2013). Deze bodemprocessen karakteriseren en domineren de bodemecologische processen (Ulrich & Sumner, 2012) en corresponderen met de 'alternative stable states' theorie (ASS) (Scheffer et al., 2001; Beisner et al., 2003). De toepassing van de ASS theorie in de bodemkunde is nog recent (Vitousek & Chadwick, 2013) waardoor nog onduidelijk is in welke mate er bij de omgekeerde 'regime shift', het herstel van de basenbuffering, sprake is van hysteresis (fig. 2).

Omdat de zandgronden slechts een beperkte buffercapaciteit hebben kan de basenbuffering gemakkelijk omslaan naar een buffering gedomineerd door aluminium en ijzer. Deze beperkte buffercapaciteit houdt echter ook in dat een 'regime shift' naar de buffering door basen, niettegenstaande de te verwachten hysteresis, relatief gemakkelijk is. De kwetsbare factor van deze bossen, de arme zandbodem, is tegelijkertijd de sleutel

Kader 1. Basische kationen

De term base of basis kation wordt in de boscologische literatuur algemeen gebruikt om Ca, Mg, K en Na-ionen te benoemen. Dit is chemisch gezien niet volledig juist, omdat kationen zich als zuren gedragen, maar dan veel minder sterk dan bijvoorbeeld protonen, Al of Fe. Vanwege de herkenbaarheid gebruiken wij hier verder deze terminologie.

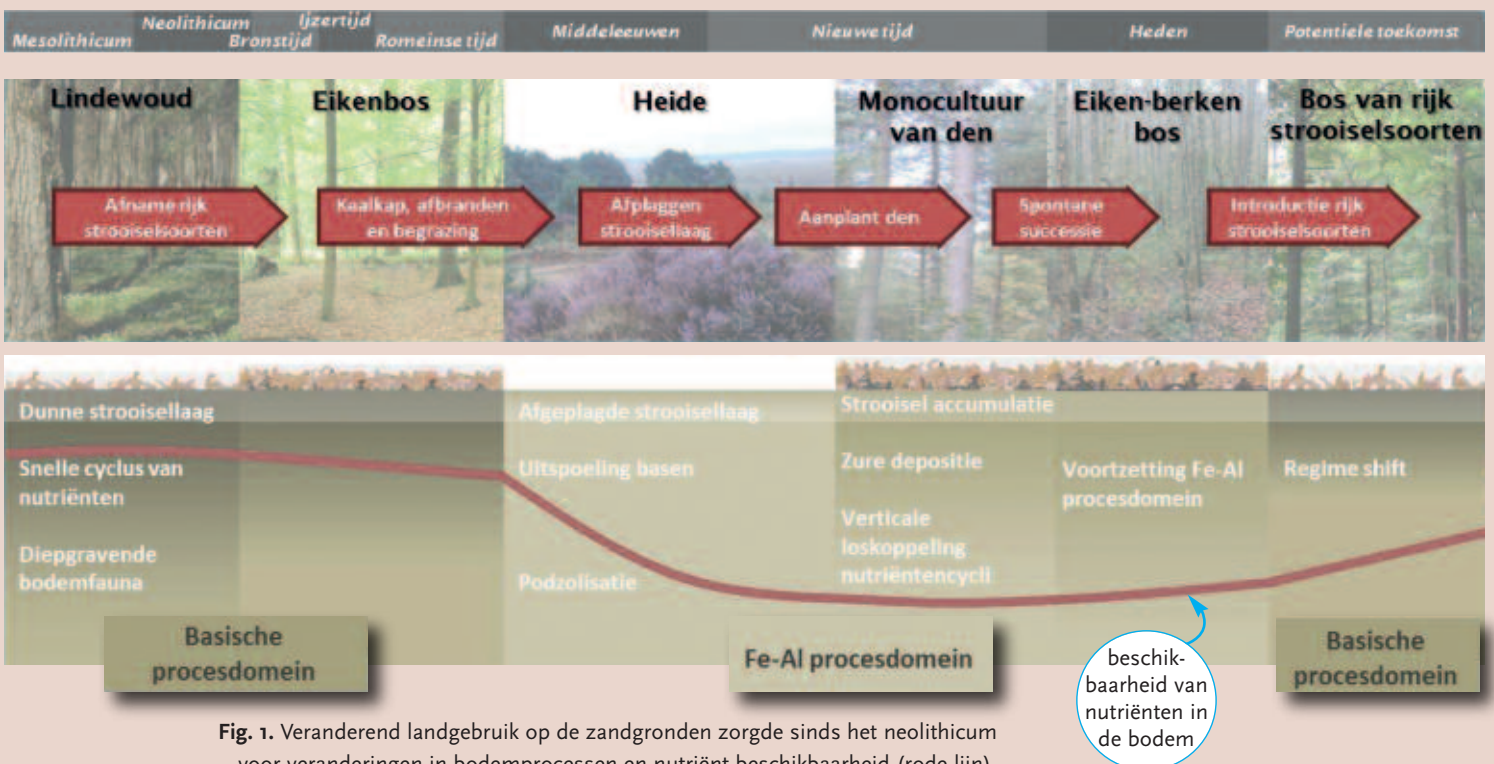
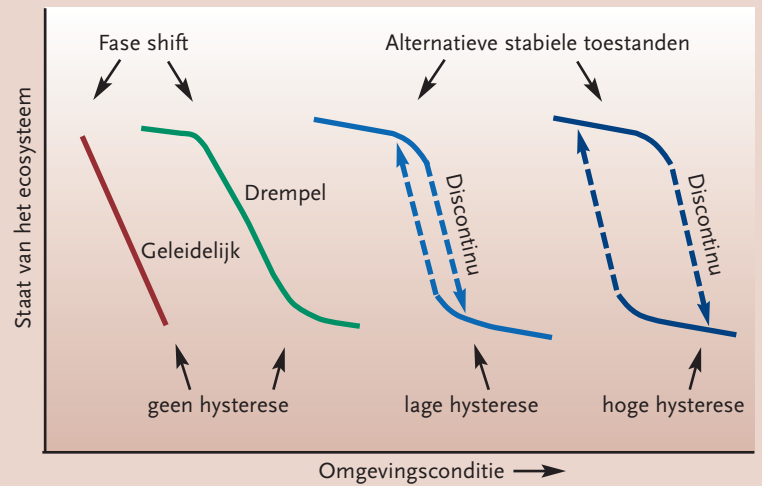


Fig. 1. Veranderend landgebruik op de zandgronden zorgde sinds het neolithicum voor veranderingen in bodemprocessen en nutriënt beschikbaarheid (rode lijn).

Fig. 2. Mogelijke ecosysteem reactie curven: lineair, drempel of hysteresis. Hysteresis kan laag zijn, (zoals te verwachten bij zandgronden) of hoog (bijvoorbeeld op leemgronden met een hoge kation uitwisselingscapaciteit (CEC)) (Afbeelding naar Scheffer et al., 2001). Hysteresis verwijst naar het bestaan van verschillende regimes bij dezelfde waarden van de bepalende parameters. Het hysteresis effect zorgt ervoor dat de weg heen -van basenbuffering naar Al/Fe buffering- sneller verloopt dan de weg terug: van Al/Fe buffering naar een basenbuffering. Met andere woorden: om het regime terug te laten kantelen zullen de omgevingscondities (bijvoorbeeld nutriëntenaanbod door strooisel) beter moeten zijn dan toen de basenbuffering kanelde naar Al/Fe buffering.



voor een succesvolle herstelstrategie. Wegnemen van de verzurende depositie is de belangrijkste maatregel om deze 'regime shift' mogelijk te maken. Aangezien deze maatregel buiten het bereik van bosbeheerders ligt, focussen we in dit artikel op maatregelen die door bosbeheerders uit te voeren zijn.

Niettegenstaande de bosvormings- en bosontwikkelingsmaatregelen van afgelopen decennia die tot meer gemengde bossen geleid hebben, verhindert de huidige boomsoortensamenstelling een succesvolle 'regime shift' naar een rijkere bosesysteem. De dominante boomsoorten in het kronendak, Grove den (*Pinus sylvestris*), Zomereik (*Quercus robur*) en Beuk (*Fagus sylvatica*), zijn boomsoorten met sterk verzurend strooisel die de bosbodem in het Fe/Al procesdomein houden. Boomsoorten met 'rijk strooisel' als Winterlinde (*Tilia cordata*), Gewone esdoorn (*Acer pseudoplatanus*), Noorse esdoorn (*Acer platanoides*), Ruwe berk (*Betula pendula*) en Amerikaanse vogelkers (*Prunus serotina*) produceren daarentegen strooisel dat gemakkelijk afbreekbaar is en rijk is aan Ca en andere nutriënten (Reich et al., 2005; Schrijver et al., 2012), zelfs wanneer ze op relatief arme bodems groeien. Met andere woorden, de strooiselkwaliteit is een ondergewaardeerde functionele eigenschap van boomsoorten (Muys, 1995; Scherer Lorenzen et al., 2007). Hoewel Amerikaanse vogelkers een exotische boomsoort is, staan zijn bodemverbeterende eigenschappen buiten kijf (Nyssen et al., 2013) en aangezien deze alomtegenwoordige boomsoort niet meer uit te roeien is, ligt integratie in de bosherstelstrategie voor de hand.

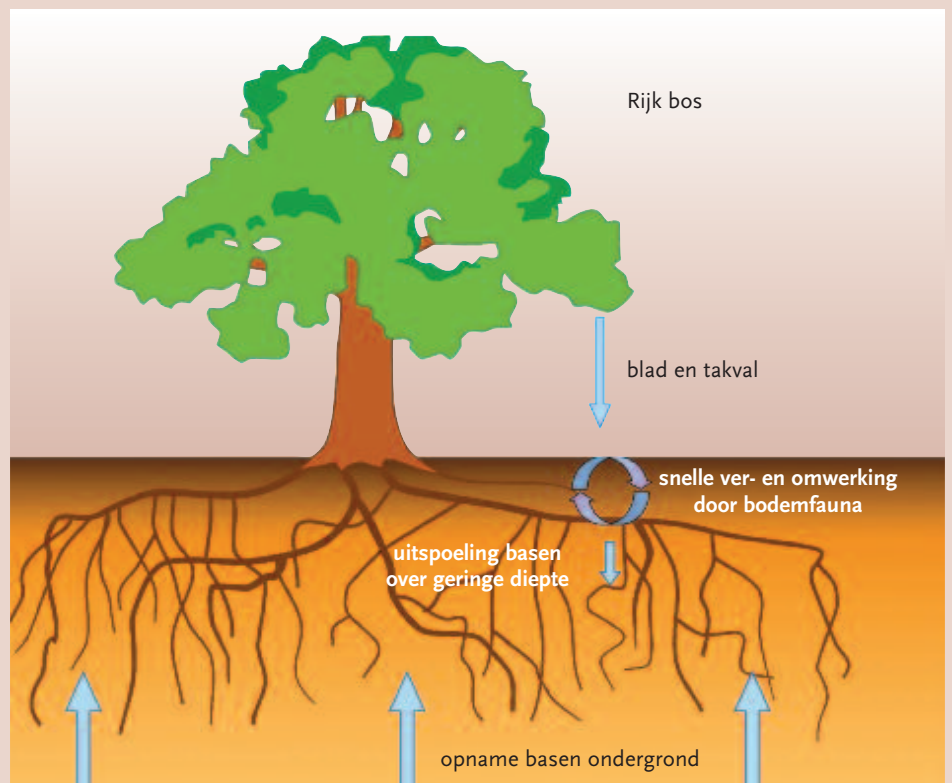
Fig. 3. Boomsoorten met rijk strooisel functioneren als nutriëntenpomp. De nutriënten blijven in het bosesysteem en worden steeds weer hergebruikt.

Aanplant rijk strooiselsoorten als herstelmaatregel

Verhogen van het aandeel boomsoorten met rijk strooisel in de bossen op zandgronden is de meest voor de hand liggende en tevens gemakkelijk uitvoerbare maatregel om de gedegradeerde bosbodems te herstellen. Het rijke strooisel zal niet alleen de nutriëntenkringlopen, de 'nutriëntenpomp' herstellen en het bodemecosysteem in staat stellen de buffering door basen te herstellen, maar zal ook ten goede komen van de bodemfauna (Schrijver et al., 2012) (fig. 3).

In praktijk kan er sprake zijn van een sterke hysteresis (fig. 2) of zelfs een niet omkeerbaarheid van de bodemdegradatie. Dit kan het gevolg zijn van een beperkte voorraad aan verweerbare mineralen of het deels of volledig ontbreken van bodemfauna, vooral regenwormen (Muys et al., 2003). In deze

situaties kan het noodzakelijk zijn om de aanplant van boomsoorten met rijk strooisel aan te vullen met een verhoging van de mineralenvoorraad (steenmeel) en/of de herintroductie van bodemfauna, zoals regenwormen. Meestal echter zal de beperkte buffercapaciteit van de zandgronden het mogelijk maken om door een dominantie van rijk strooiselsoorten de omslag van Al/Fe buffering naar basenbuffering te maken. Voorwaarde is wel dat de bomen in de bodem voldoende nutriënten en/of in de ondergrond voldoende verweerbare mineralen ter beschikking hebben. Op termijn zullen de aangeplante boom- en struiksoorten met rijk strooisel zelf zorgen voor een geleidelijk herstel van de bovengrond. Via wortels opgenomen nutriënten worden met het gemakkelijk verteerbaar strooisel afgegeven aan de bovengrond, waardoor de nutriënten- en basenvoorzie-



ning geleidelijk verbetert. Deze nutriëntenpomp gaat pas goed functioneren als soorten met rijk strooisel een substantiële bedekking in de boom- en struiklaag bereikt hebben. Experimenten met gesteentemeel zullen uitwijzen of de nutriëntenpomp sneller op gang gebracht kan worden én of op de meest arme zandgronden een combinatie van rijk strooiselsoorten en toevoeging van mineralen middels gesteentemeel wenselijk is.

Op basis van de uitkomsten van een landschapsecologische systeemanalyse (LESA) heeft Bosgroep Zuid Nederland besloten om te werken aan de aanplant van de zaadbomen van de boom- en struiksoorten. Vooralsnog zijn ongeveer 100.000 toekomstige zaadbomen ingebracht (50.000 stuks in 2015). De financiering voor de volgende 90.000 boompjes is ondertussen gerealiseerd met steun van provincie Noord-Brabant en de Europese Unie en de Bosgroep werkt momenteel aan de financiering van een volgende schijf van 300.000 tot 500.000 boompjes.

LESA ondersteuning bij herstel nutriëntenpomp

Een LESA in het kader van het uitrollen van deze herstelstrategie is gericht op het in kaart brengen van:

1. de ligging van de bossen op zandgronden
2. de meest kansrijke bosbodems voor de herintroductie van rijk strooiselboomsoorten,
3. positiebepaling van zaadbomen van waaruit de rijk strooiselboomsoorten zich uit kunnen breiden,
4. het vóórkomen van bosplanten die als indicator kunnen dienen voor de 'regime shift' naar basenbuffering.

Met behulp van geologische en bodemkundige analyse op basis van de geologische, geomorfologische- en bodemkaart van Nederland, het Actueel Hoogtebestand van Nederland en informatie uit DINO-loket werden de hogere zandgronden gelokaliseerd. De gebieden die als hogere zandgronden benoemd zijn, bestaan in de praktijk uit een complex geheel aan geologische formaties. Noord-Brabant bestaat uit dalings- en stijgingsgebieden. Van west naar oost zijn dat: het Massief van Brabant (van de Brabantse Wal tot en met het Kempens plateau, de Roerdalslenk (ook wel Centrale slenk genoemd), de Peelhorst en de Venloslenk. Op de hoge delen zijn de dekzandpakketten door erosie vaak dun en liggen fluviaat afzettingen (afwisselend klei, zand en grind) dicht aan de oppervlakte. In de slenken kunnen dekzandpakketten

tientallen meters dik zijn. Meestal zijn deze gemengd met enkele centimeters tot decimeters dikke leemlagen afgezet door wind en water (Brabantse leem). Bodemkaarten en geologische kaarten blijken te weinig gedetailleerd te zijn om voor potentiële aanplantlocaties de kansrijkdom voor succesvolle aanplant van meereisende loofboomsoorten te bepalen. Daarom werden random bodemboringen tot twee meter diepte uitgevoerd om de aanwezigheid van, voor bomen bereikbare, mineralogisch rijkere leem- en kleilagen te bepalen. De bodemboringen toonden aan dat zowel in slenken als op de horsten vrijwel overal binnen twee meter leem- dan wel kleilagen aangetroffen worden en dat deze soms zelfs kalkhoudend zijn.

Bestudering van de beheerkaarten van de bossen toont het vrijwel vlakdekkend ontbreken van inheems loofboomsoorten, met uitzondering van Zomereik, Ruwe berk en Beuk. Verificatie in het terrein liet zien dat de beheerkaarten een goed beeld gaven van de boomsoortensamenstelling. Niet op het kaartmateriaal aanwezige bijmenging en spontane verjonging was vrijwel altijd afkomstig van de op het kaartmateriaal genoemde boomsoorten. Slechts sporadisch werd een Winterlinde, Spaanse aak (*Acer campestre*), Gewone esdoorn, Grauwe els (*Alnus incana*), Ratelpopulier (*Populus tremula*) of Hazelaar aangetroffen. Uitbreiding van oud-bosplanten gebonden aan bodems in het basen bufferbereik, zoals Bosanemoon, Dalkruid en Salomonszegel, zou de ideale indicator kunnen zijn van een betere nutriënten- en basenvoorziening ten gevolge van de uitgevoerde maatregelen. Deze planten zouden de huidige uitgebreide bodemonderzoeken overbodig kunnen maken. Deze oud-bosplanten zijn ten gevolge van de ontbossing in het verleden echter uit de meeste bossen op de arme zandgronden verdwenen en zullen naar verwachting door de versnippering van het landschap en hun vaak moeizame verbreiding niet op eigen kracht terugkeren. Daarom vinden er herintroductie-experimenten plaats met enkele oud-bossoorten (foto 2).

Veerkracht vergroot

Herstel van de nutriëntenpomp is de sleutel om de bosontwikkeling van dennenbos naar eiken-berkenbos te overstijgen en daarmee de biodiversiteit en de veerkracht tegen verzurende depositie en klimaatverandering van het boslandschap te vergroten (Muys et al., 2003). De grote schaal waarop de maat-

regelen uitgevoerd worden biedt een unieke kans om de mogelijkheden voor bodemverbetering op voedselarme droge zandgronden te onderzoeken. Alle uitgevoerde maatregelen worden nauwkeurig gevolgd. Daarbij zijn al enkele opvallende resultaten te constateren. De jonge aanplant is na twee jaar reeds in staat het gehalte aan fosfor in de bovengrond substantieel te verhogen en de aanplant van de schaduwtolerante loofboomsoorten als linde en Esdoorn slaat opvallend goed aan bij aanplant onder scherm (sterfte <2%), maar veel minder bij aanplant op kapvlakten.

Literatuur

- Beisner, B.E., D.T. Haydon & K. Cuddington, 2003. Alternative stable states in ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1(7): 376-382.
- Bergmann, J.H., D. Heinsdorf & M. Ott, 2001. Sauen 1994—ein gelungener Waldumbau. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* 13.
- Bobbink, R., D. Bal, H.F. van Dobben, A.J.M. Jansen, M. Nijssen, H. Siepel, J.H.J. Schaminée, N.A.C. Smits & W. de Vries, 2012. De effecten van stikstofdepositie op de structuur en het functioneren van ecosystemen. *Alterra, Wageningen*. Hoofdstuk 2 van deel 1: 41.
- Casparie, W.A. & W. Groenman-van Waateringe, 1980. Palynological analysis of Dutch barrows. *Palaeohistoria* 22.
- Hekhuis, H. & J. den Ouden, 2016. Waarheen met het Nederlandse bos? *Vakblad natuur bos en landschap* 127.
- Hommel, P., R.W. de Waal, B. Muys, J. den Ouden & T. Spek, 2007. Terug naar het lindewoud. Strooiselkwaliteit als basis voor ecologisch bosbeheer. *KNNV Uitgeverij, Zeist*.
- Lucassen, E., L. van den Berg, R. Aben, A. Smolders, J. Roelofs & R. Bobbink, 2014. Bodemverzuring en achteruitgang zomereik. *Landschap* 31 (4).
- Muys, B., 1995. The influence of tree species on humus quality and nutrient availability on a regional scale (Flanders, Belgium). *Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems*. Springer: 649-660.
- Muys, B., G. Beckers, L. Nachtergale, N. Lust, R. Merckx & P. Granval, 2003. Medium-term evaluation of a forest soil restoration trial combining tree species change, fertilisation and earthworm introduction. *The 7th international symposium on earthworm ecology*. Cardiff, Wales. 2002. *Pedobiologia* 47(5): 772-783.
- Nyssen, B., J. den Ouden & K. Verheyen, 2013. Amerikaanse vogelkers, van Bospest tot Bosboom. *KNNV uitg., Zeist*.
- 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. *Ecology Letters* 8(8): 811-818.

Scheffer, M., S. Carpenter, J.A. Foley, C. Folke & B. Walker, 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature* 413(6856): 591-596.

Scherer Lorenzen, M., J. Luis Bonilla & C. Potvin, 2007. Tree species richness affects litter production and decomposition rates in a tropical biodiversity experiment. *Oikos* 116(12): 2108-2124.

Schrijver, A., P. Frenne, J. Staelens, G. Verstraeten, B. Muys, L. Vesterdal, K. Wuyts, L. Nevel, S. Schelfhout & S. Neve, 2012. Tree species traits cause divergence in soil acidification during four decades of postagricultural forest development. *Global Change Biology* 18(3): 1127-1140.

Ulrich, B. & M.E. Sumner, 2012. *Soil acidity*, Springer Science & Business Media.

Vitousek, P.M. & O.A. Chadwick, 2013. Pedogenic thresholds and soil process domains in basalt-derived soils. *Ecosystems* 16(8): 1379-1395.

Summary

Regime shift in forests on sandy soils

The original lime-oak forests on poor sandy soils in The Netherlands have degraded to nutrient poor heathlands as a consequence of changes in land use. Reforestation of these soils in the 19th and 20th century with tree species characterised by poor quality litter, mostly Scots pine, was insufficient to fully restore the degraded forest soils. Partial replacement of the pines by species with more easy degradable lit-

ter ('rich-litter') such as Winter lime, Sycamore maple and Common hazel is expected to cause a belowground regime shift from the current Al/Fe process domain to the Base process domain. This regime shift will restore the current forest beyond its spontaneous succession and hence result in higher biodiversity and resilience of forests on poor sandy soils.

Ir. B.J.M. Nyssen & Ir. R.F. van der Burg
Bosgroep Zuid Nederland
Huisvenseweg 14, 5591 VD Heeze
b.nyssen@bosgroepen.nl
r.vandenburg@bosgroepen.nl

Ir. E. Desie
KU Leuven, Division Forest,
Nature and Landscape
Celestijnenlaan 200E-2411
BE-3001 Leuven
ellen.desie@kuleuven.be

Foto 2. Herintroductie van Gewone salomonszegel (*Polygonum multiflorum*) in een bos bij Veldhoven op droge zandgrond waar bodemcondities sterk verbeterd zijn door de aanwezigheid van Amerikaanse vogelkers (*Prunus serotina*) in de kroonlaag (foto: Philippine Vergeer).

