



Kan houtoogst stikstofdepositie mitigeren?

Atmosferische stikstofdepositie leidt tot vermesting en verzuring in bossen. De aanpak van beide effecten tezamen door het intensief afvoeren van biomassa is niet goed mogelijk in bossen op zwak gebufterde gronden. Door hout te oogsten kan de vermesting aanzienlijk teruggedrongen worden, maar deze maatregel werkt verzuring in de hand, waardoor essentiële nutriënten als calcium, magnesium en kalium verdwijnen. In het kader van de PAS beoordelen we aan de hand van nutriëntenbalansen de effecten van meer of minder biomassa-oogst in Natura 2000-boshabitats in Vlaanderen.

Om de impact van verhoogde stikstofdepositie te bepalen, is het nodig om de complexe nutriëntenstromen en -voorraden van bosesystemen onder de loep te nemen. Meer dan twee derde van de totale voorraad aan stikstof in het bosesysteem ligt vast in de bodem en de ondergrondse biomassa. Hoewel er jaarlijks via diverse stromen heel wat stikstof omgaat, is de stikstofcyclus in niet tot weinig vervuilde bosesystemen grotendeels gesloten. De hoeveelheden die jaarlijks via depositie of fixatie ingevangen worden en die verdwijnen door uitspoeling of denitrificatie zijn dus relatief laag en min of meer in balans (figuur 1). Naast stikstof bevatten bos-ecosystemen ook aanzienlijke, maar wel veel lagere, hoeveelheden van andere noodzakelijke macronutriënten zoals calcium, magnesium en kalium. In veel bossen van Vlaanderen en Nederland is de bodem zuur en arm aan deze mineralen. Een relatief groot deel van de totale voorraden van calcium, magnesium en kalium is er opgeslagen in de bovengrondse biomassa en het strooisel.

Een deel van de nutriëntenvoorraden in de bodem en het strooisel kan door mineralisatie – dit is de afbraak van organisch materiaal – beschikbaar komen voor de vegetatie. Wat niet benut kan worden door de vegetatie, spoelt grotendeels uit en verdwijnt uit het bosesysteem. Het proces wordt sterk gestimuleerd na een kap, wanneer meer licht invalt en de bosbodem opwarmt. Ook bekalking stimuleert mineralisatie, waardoor meer stikstof beschikbaar komt. Deze en andere neveneffecten

van bekalking zijn uitgebreid beschreven, onder meer door Wolf *et al.* (2006). We gaan er daarom in dit artikel niet verder op in.

Invloed van successie en bosbeheer

De omvang van de nutriëntenstromen en voorraden in bosesystemen zijn erg variabel en afhankelijk van het klimaat, de aanwezige boomsoorten, de leeftijd van de bomen, de bodem, het ontwikkelingsstadium en het beheer (De Schrijver *et al.*, 2011). In veel bossen die zijn aangemeld als Natura 2000-habitat, interfereren de voortschrijdende successie en veranderingen in het bosbeheer met de effecten van stikstofdepositie.

In de loop van een natuurlijke successie nemen de nutriëntenvoorraden en -stromen vanzelf toe. De ontwikkeling van een eiken-beukenbos uit heide, over een termijn van meer dan 300 jaar, gaat hand in hand met een toename van de voorraad nutriënten, vooral in de bovengrondse biomassa en de organische bodem (tabel 1) en ook de stikstofstromen nemen fors toe. Door mineralisatie komt jaarlijks acht keer meer stikstof vrij onder een eiken-beukenbos dan onder heide. De atmosferische depositie neemt eveneens toe omdat de depositieoppervlakte groter wordt. In dezelfde periode stijgt de totale stikstofbehoefte van de vegetatie met een factor 7,5 (tabel 2).

Vroeger werd een zeer intensief bosbeheer gevoerd, gericht op de maximale oogst van biomassa. Dit beheer omvatte vaak een kap met korte cycli, de oogst van wor-

Dr. Ir. L. (Luc) De Keersmaecker
Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Onderzoeksgroep Ecosysteembeheer, Gaverstraat 4, 9500 Geraardsbergen, België
luc.dekeersmaecker@inbo.be

Dr. Ir. H. (Hannes) Cosyns
Swiss Federal Research Institute for Forest, Snow, and Landscape

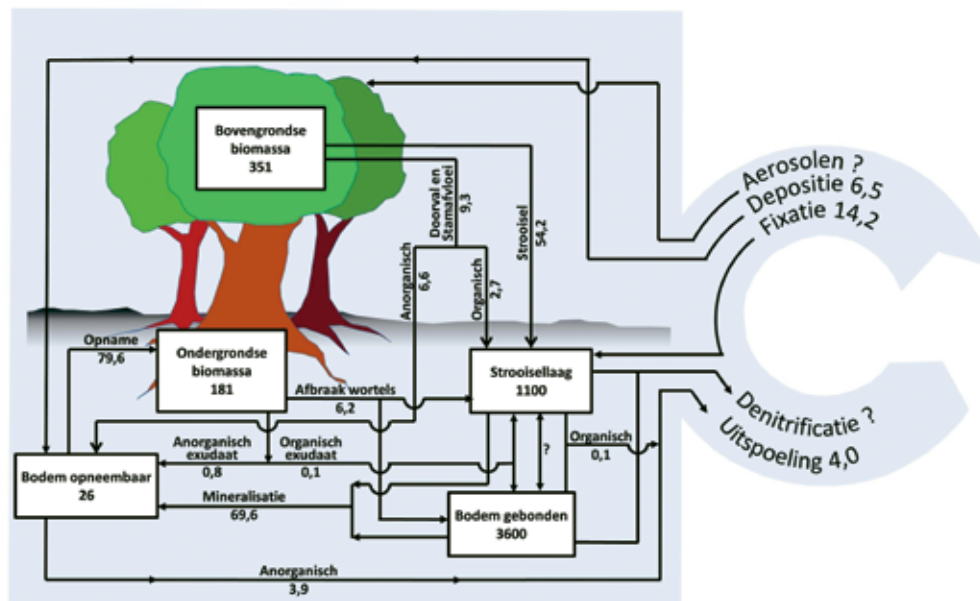
Dr. Ir. A. (Arno) Thomaes
Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Onderzoeksgroep Ecosysteembeheer

Ir. K (Kris) Vandekerckhove
Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Onderzoeksgroep Ecosysteembeheer

Foto **Luc De Keersmaecker**
Zoniënwoud.

Figuur 1 voorraden (kg/ha) en stromen (kg/ha.jaar) van stikstof in een gematigd loofbos op zure bodem in de VS, in een omgeving met een lage stikstofdepositie (Ovington, 1965).

Figure 1 pools (kg/ha) and flows (kg/ha.year) of nitrogen in a temperate deciduous forest on acid soil in the US, in an environment with low nitrogen deposition (Ovington, 1965).



tels, maaien, begrazen, sprokkelen en soms ook het verwijderen van strooisel (Tack et al., 1993). Door de afgenomen intensiteit van het bosbeheer in de voorbije eeuw, kon de nutriëntenhuishouding zich herstellen en steeg de productiviteit van het boscysteem (Zang & Rothe, 2013).

Impact verhoogde stikstofdepositie

Als de atmosferische depositie van stikstof toeneemt door vervuiling kan de extra stikstof opgeslagen worden door het boscysteem zolang dit niet verzadigd is. Vooral de organische bodem neemt de retentie van bijkomende stikstof voor zijn rekening, maar ook de productiviteit en de stikstofconcentratie van de biomassa kunnen toenemen. Als het vermogen van het ecosysteem om de extra stikstof op te slaan overtroffen wordt

door de aanhoudende depositie, wordt de stikstofcyclus 'open'. De overmaat verdwijnt uit het ecosysteem, vooral door uitspoeling. De verhoogde depositie van stikstof heeft ook een effect op de voorraden en stromen van andere nutriënten. De depositie van stikstof heeft een verzurend effect, waardoor calcium, magnesium en kalium van de bodemdeeltjes worden verdrongen door protonen en aluminium en uit het ecosysteem verdwijnen door uitspoeling (De Schrijver et al., 2011).

Veranderingen in de nutriëntenhuishouding worden vaak beoordeeld aan de hand van de voorkomende vaatplanten (Ewald et al., 2013). Experimenteel en observationeel onderzoek toont immers aan dat grassen, zoals pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) of bochtige smele (*Deschampsia flexuosa*) en varens zoals wijfjesvaren (*Athyrium filix-femina*), smalle stekelvaren

Successiestadium	heide	berken-dennenbos	eiken-beukenbos (H9120)
Duur successie (jaren)	0	40	350
Leeftijd bomen (jaren)		30	120-200
Hoogte vegetatie (m)	1	12	30
Strooiselproductie (kg DS/ha.jaar)	530	2950	4860
Organische bodem (kg/ha)			
Ca	28,0	50,8	92,4
Mg	12,3	21,4	32,5
K	23,8	32,8	55,6
N	744,8	1321,2	2406,7
Minerale bodem (kg/ha)			
Ca	21,1	25,8	25,1
Mg	7,4	8,3	8,8
K	25,9	18,6	27,4
N	3665,9	3235,3	3726,2

(*Dryopteris carthusiana*) of brede stekelvaren (*Dryopteris dilatata*) kunnen toenemen als gevolg van stikstofdepositie, terwijl heideachtige soorten, zoals blauwe bosbes (*Vaccinium myrtillus*) of struikheide (*Calluna vulgaris*) achteruit kunnen gaan (Cunha *et al.*, 2002). In de praktijk is het echter moeilijk om de effecten van stikstofdepositie op de vegetatie te onderscheiden van successie en van de invloed van gewijzigd bosbeheer. Zo kunnen stekelvarens zich vlot vestigen op verterend dood hout en ook een indicator zijn van de afwezigheid van een intensief bosbeheer (De Waal *et al.*, 2001). Een toename van de indicatorwaarde voor voedselrijkdom, gemeten in Europese dennen- en eikenbossen, wordt door

Ewald *et al.* (2013) hoofdzakelijk toegeschreven aan het herstel van nutriëntencycli als onderdeel van de natuurlijke successie.

In Vlaamse bossen op arme zandbodem is een sterke verzuring vastgesteld in de voorbije decennia, die wellicht het gevolg is van de atmosferische depositie van zwavel en stikstof (De Schrijver *et al.*, 2006). In zure bodems kan de uitspoeling van mineralen en de verhoogde beschikbaarheid van stikstof leiden tot verminderde vitaliteit en verhoogde sterfte bij zomereik (*Quercus robur*), zie Lucassen *et al.* (2014). In het Meerdaalwoud nabij Leuven is ook de leembodem tussen 1954 en 2000 sterk verzuurd, plaatselijk tot een pH-waarde lager dan

Successiestadium	heide	berken-dennenbos	eiken-beukenbos (H9120)
Vrijstelling door mineralisatie	10,5	27,6	85,8
Atmosferische depositie	10,9	13,4	17,2
Opname door de vegetatie	8,5	39,9	63,6

Tabel 1 voorraden van nutriënten (kg/ha) in de organische en de minerale bodem van drie successiestadia in de Lüneburger Heide, die een periode van 350 jaren omvatten. In de organische bodem werden totale voorraden gemeten. De uitwisselbare nutriënten in de minerale bodem, uitgezonderd stikstof, zijn bepaald door extractie met NH_4Cl . Gebaseerd op Rode *et al.* (1993) en Leuschner (1993).

Table 1 nutrient pools (kg/ha) in the organic and mineral soil of three succession stages at the Lüneburger Heide over a period of 350 years. In the organic soil total pools were measured; exchangeable nutrients in the mineral soil, with the exception of nitrogen, were determined by NH_4Cl extraction. Based on Rode *et al.* (1993) and Leuschner (1993).

Tabel 2 stikstofstromen (kg/ha.jaar) in drie successiestadia in de Lüneburger Heide, die een periode van 350 jaren omvatten (Leuschner, 1993).

Table 2 nitrogen flows (kg/ha.year) in three succession stages at the Lüneburger Heide over a period of 350 years (Leuschner, 1993).

4,5. Onder deze drempelwaarde komt aluminium vrij, dat toxisch is voor de meeste soorten lentebloeiers, zoals bosanemoon (*Anemone nemorosa*) en slanke sleutelbloem (*Primula elatior*), zie Baeten et al. (2009). De verzurende effecten van stikstofdepositie reiken overigens veel verder dan de vegetatie en kunnen ook effecten hebben op fauna (Graveland et al., 1994).

Effecten meer of minder biomassaogst

Om de effecten van stikstofdepositie op boshabitat te remediëren, wordt overwogen om meer biomassa te oogsten door extra te dunnen of een hakhoutbeheer toe te passen. Tegelijk wordt de mogelijke uitputting van calcium, kalium en magnesium als een aandachtspunt geformuleerd (Jansen et al., 2015). In Vlaanderen en Nederland zijn recent aan de hand van nutriëntenbalansen, adviessystemen ontwikkeld voor biomassaogst in bossen (de Jong et al., 2014; Cosyns et al., 2015). De vraag naar biomassa uit bos, als alternatief voor fossiele brandstoffen, neemt immers sterk toe. Hoewel niet specifiek hiervoor ontwikkeld, kan deze methodiek ook gebruikt worden om de effecten van houtoogst in Natura 2000-bos te beoordelen.

De balansen voor stikstof, calcium, kalium en magnesium zijn berekend voor vier Vlaamse bossen, waar de effecten van stikstofdepositie reeds jarenlang worden gevolgd (Verstraeten et al., 2012). Drie van de vier bossen (Aelmoeseneiebos, Wijnendalebos en Zoniënwoud) zijn oude bosplaatsen die als beuken-eikenbos met hulst (Hg120) en vochtig alluviaal bos (Hg1E0) getypeerd worden en dus in aanmerking komen voor een herstelbeheer als onderdeel van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS). De Inslag (Brasschaat) is ontstaan in het begin van de 19e eeuw door bebossing van heide. Het bos is een homogene aanplant van grove den (*Pinus sylvestris*) uit 1929. Hierdoor is het geen Natura 2000-habi-

tat, maar het kan wel model staan voor het grote areaal naaldhout dat door ontginning van heide is ontstaan in Vlaanderen.

In genoemde bossen zijn de chemische samenstelling van de verschillende bodemlagen, het uitspoelende bodemwater en het neerslagwater gemeten en zijn waterfluxen en houtvoorraden begroot, zie tabel 3. Deze meetresultaten zijn aangevuld met literatuurgegevens over de vrijstelling van nutriënten door verwerking en de chemische samenstelling van het hout van de aanwezige boomsoorten. Vervolgens zijn balansen berekend door het verschil te bepalen tussen de hoeveelheden die jaarlijks in het ecosysteem terecht komen door depositie en verwerking en de hoeveelheden die er jaarlijks uit verdwijnen door uitspoeling en door drie niveaus van hout-oogst. Interne nutriëntenstromen, bijvoorbeeld mineralisatie en opname, worden dus niet in rekening gebracht in deze balans.

De nutriëntenvoorraden in de drie bossen op zure bodem (De Inslag, Zoniënwoud, Wijnendalebos) tonen aan dat de bovengrondse biomassa naar verhouding weinig stikstof bevat, maar wel relatief veel kalium, calcium en magnesium (tabel 4). De verhouding van de voorraad in de bovengrondse biomassa tot de som van de voorraden in het strooisel en het beschikbare deel in de minerale bodem, is een ruwe indicator voor de duurzaamheid van houtoogst (Englisch & Reiter, 2009). Hoe groter de nutriëntenvoorraad in strooisel en minerale bodem ten opzichte van de bovengrondse biomassa, en dus hoe kleiner de verhouding tussen beide, des te duurzamer is de houtoogst. In de drie hierboven genoemde bossen wordt houtoogst als weinig tot niet duurzaam beoordeeld voor de gehalten aan calcium, magnesium en kalium. De indicator voorziet geen problemen van houtoogst in het Aelmoeseneiebos, een essenbos op een alluviale bodem die gevoed wordt door baserijk grondwater (tabel 4).

Voorraden

Bomen	Berekening met behulp van de gehalten in de verschillende fracties van de boom (stam, takken, schors), de aandelen van deze fracties in de biomassa van de boom en de densiteit van het hout (literatuurgegevens). De voorraden per boom zijn omgerekend naar voorraden per ha, met inventarisatiegegevens uit 2010.
Strooisellaag	Berekening met het gewicht van de organische bodem en de totale gehalten in deze laag, bepaald in 2004.
Minerale bodem	Berekening met de gehalten en de bulkdichtheid op een diepte van 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm en 40-80 cm, bepaald in 2004: -uitwisselbare voorraden van Ca, K, Mg door extractie met BaCl ₂ , -N-voorraad met de gewijzigde Kjeldahl methode.

Stromen

Depositie	Vijfjaarlijkse gemiddelde (2009-2013) van deposities in doorval en stamafvloei
Verwerking	Jaarlijkse vrijstelling volgens literatuurgegevens
Uitspoeling	Vijfjaarlijkse gemiddelde (2009-2013) van de concentraties en stromen van het bodemwater in de C-horizont, op een diepte van 45-80 cm.
Oogst	Drie niveaus: geen oogst (Geen), jaarlijkse afvoer door enkel stammen te oogsten (Stam) en jaarlijkse afvoer door oogst van de volledige bomen (WTH), zie tabel 5. De bomen zijn oud genoeg voor een eindkap, zodat de jaarlijkse afvoer bepaald kan worden door de houtvoorraad in 2010 te delen door de boomleeftijd.

Locatie	Fractie	N	K	Ca	Mg
De Inslag	B	406	124	126	29
Grove den 81 jaar	S	1165	38	159	32
Geen habitat	M	3503	92	22	<1
Zand	B/(S+M)	9	95	70	91
Zoniënwoud	B	1122	509	790	101
Beuk 101 jaar	S	760	71	255	48
H9120	M	8218	617	786	<1
Leem	B/(S+M)	12	74	76	210
Wijnendalebos	B	1027	466	723	92
Beuk 75 jaar	S	2584	102	329	87
H9120	M	11683	279	188	26
Lemig zand	B/(S+M)	7	122	140	81
Aelmoeseneiebos	B	1018	421	761	88
Es 90 jaar	S	153	26	80	23
H91E0	M	18878	835	18290	1547
Alluviaal zandleem	B/(S+M)	5	49	4	6

Tabel 3 werkwijze voor de berekening van voorraden en stromen van stikstof, kalium, calcium en magnesium in vier Vlaamse bossen (Cosyns *et al.*, 2015).

Table 3 method for calculating supplies and flows of nitrogen, potassium, calcium and magnesium in four Flemish forests (Cosyns *et al.*, 2015).

Tabel 4 nutriëntenvoorraden (kg/ha) in de bovengrondse biomassa (B), de strooisellaag (S) en de uitwisselbare fractie van de minerale bodem (M) in 4 proefbossen in Vlaanderen. De verhouding B/(S+M) (%) is een indicator voor de duurzaamheid van biomassa-oogst (Engelisch & Reiter, 2009): duurzaam (groen); weinig duurzaam (geel) en niet duurzaam (rood).

Table 4 nutrient pools (kg/ha) in the above-ground biomass (B), the litter layer (S) and the exchangeable fraction of the mineral soil (M) of four forests in Flanders. The ratio B/(S+M) (%) is an indicator for sustainable biomass harvesting (Engelisch & Reiter, 2009): sustainable (green), little sustainable (yellow) and unsustainable (red).

Tabel 5 nutriëntenbalansen (kg/ha.jaar) in drie bossen op zure bodem, bij drie niveaus van oogst: geen oogst (Geen), enkel stamoogst (Stam) en oogst van de volledige boom (WTH).

Table 5 nutrient balances (kg/ha.year) for three forests on acid soil with three harvesting levels: no harvest (Geen), harvest of stems only (Stam) and of whole trees (WTH).

Locatie	Oogst	N	K	Ca	Mg
De Inslag					
Grove den 81 jaar	Geen	8,7	3,1	2,9	0,7
Geen habitat	Stam	3,0	1,7	0,8	0,3
Zand	WTH	-1,1	0,2	-0,1	0,0
Zoniënwoud					
Beuk 101 jaar	Geen	11,2	2,8	4,1	-0,1
H9120	Stam	-2,3	-4,5	-7,8	-1,5
Leem	WTH	-17,5	-10,2	-16,1	-2,6
Wijnendalebos					
Beuk 75 jaar	Geen	13,8	6,3	4,1	0,8
H9120	Stam	-2,6	-2,6	-10,4	-0,9
Lemig zand	WTH	-21,2	-9,5	-20,5	-2,3

Een gelijkaardige beoordeling mag verwacht worden voor bos op een droge kalkhoudende bodem, bijvoorbeeld op mergel of in kalkrijke duinen.

Omdat balansen ook depositie, uitspoeling en verweering in rekening brengen, geven ze een beter onderbouwde beoordeling dan de indicator op basis van voorraden. Voor het Aelmoeseneiebos zijn geen balansen berekend, omdat dit bos gevoed wordt door kalkrijk grondwater. Zonder houtoogst zijn de balansen positief in de drie bossen op zure bodem, behalve voor magnesium in het Zoniënwoud (tabel 5). Als enkel stammen worden geoogst, zijn de balansen van stikstof, kalium, calcium en magnesium negatief in de twee loofbossen op zure bodem (Zoniënwoud en Wijnendalebos), maar niet in het naaldbos (De Inslag). Dit kan verrassend lijken, maar loofhout heeft een aanzienlijk grotere nutriëntenbehoefte dan naaldhout en loofbomen slaan ook meer mineralen op in de houtige biomassa (tabel 4). Oogst van volledige bomen kan de voorraden uitputten van alle nutriënten in de loofhoutbossen en van stikstof en calcium in het naaldbos. Vergelijkbare berekeningen in Nederland en elders in Vlaanderen komen ook tot de

conclusie dat intensieve houtoogst, vooral op de arme zandgronden, een risico op uitputting van de mineralenvoorraad inhoudt (De Jong *et al.*, 2014; Vangansbeke *et al.*, 2015).

Dood hout en nutriënten

Van de naar schatting 2.500 soorten van het bos in Nederland is 20-50% tijdens één of meer levensstadia afhankelijk van dood hout (Jagers op Akkerhuis *et al.*, 2007). In de voorbije decennia is een deel van deze geassocieerde biodiversiteit vooruit gegaan dankzij het toegenomen aanbod aan dood hout (Vandekerckhove *et al.*, 2011). Dood hout is niet alleen van belang als habitat voor gespecialiseerde soorten, maar kan ook een rol van betekenis spelen in nutriëntencycli en -voorraden van bossen.

De afbraak van dood hout is een sterk stikstofgelimiteerd proces, als gevolg van de hoge C/N-verhouding van hout. De depositie van stikstof kan de samenstelling van hout wijzigen en zo de afbraak ervan versnellen (Bebber *et al.*, 2011). De stikstof die bijkomend nodig is voor afbraak wordt voor een aanzienlijk deel door microbiële

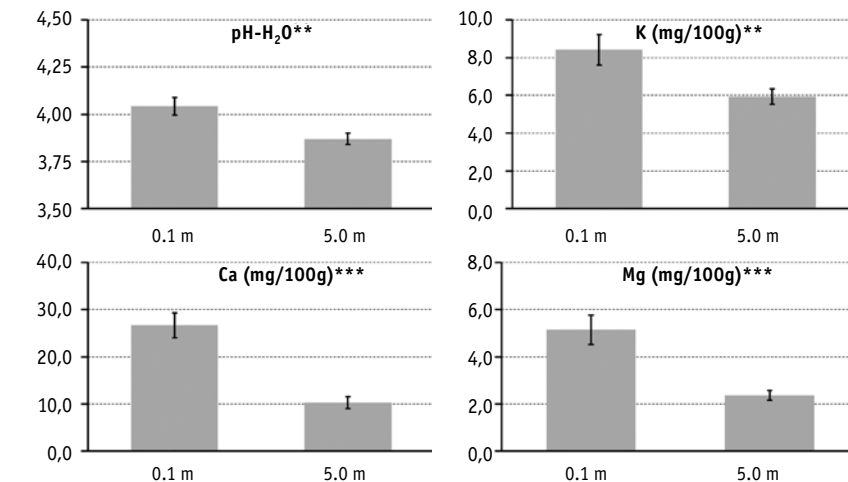
fixatie van N₂-gas geleverd. Recent onderzoek toont aan dat fungi ook stikstof onttrekken uit de bodem in de directe omgeving van het dode hout om het afbraakproces mogelijk te maken (Rinne *et al.*, 2017). Volgens Hart (1999) levert verterende dode biomassa slechts een zeer bescheiden bijdrage aan de stikstofbehoefte van de vegetatie.

In de loop van het verteringsproces is een toename vastgesteld van de concentratie van calcium en magnesium in dood hout (Kuehne *et al.*, 2008; Johnson *et al.*, 2014; Shortle & Smith, 2015). Door deze retentie vormt dood hout een belangrijke voorraad van macronutriënten die elders in de bodem van verzuurde bossen schaars zijn of moeilijk ontsloten kunnen worden. In het Zoniënwoud was de bodem net naast liggende dode stammen aanzienlijk minder zuur en arm, dan op een afstand van 5 meter (figuur 2).

Conclusie beheer Natura 2000-bos

Natuurlijke bossen hebben grote voorraden aan nutriënten opgeslagen in de boven- en ondergrondse biomassa, het strooisel en de bodem. In veel bossen in Vlaanderen en Nederland voltrekt zich een natuurlijke successie, waarbij de opbouw van een hoge voorraad van stikstof en andere nutriënten hand in hand gaat met de vestiging van soorten die een hoge nutriëntenbehoefte hebben. Stikstofdepositie interfereert met dit proces: vermesting kan zorgen voor een overmaat aan stikstof, maar door verzuring ook voor een verarming aan andere essentiële nutriënten zoals kalium, magnesium en calcium.

Het tegelijk remediëren van verzuring en vermesting door de intensiteit van de houtoogst aan te passen lijkt hierdoor bijzonder moeilijk. Door intensief houtige biomassa te oogsten, zoals dat eeuwenlang de regel was, kan de beschikbaarheid van stikstof effectief dalen. Dit beheer werkt echter verzuring in de hand, waardoor



andere nutriënten dan stikstof verdwijnen. Minder of niet oogsten dringt de overmaat aan stikstof niet terug, maar kan afname van andere nutriënten door stikstofdepositie afremmen. In deze afweging moet ook meegenomen worden dat bossen die zijn aangemeld als Europees beschermd habitat, vaak structuurrijk zijn en rijk aan soorten afhankelijk van dood hout. Wij raden daarom als vuistregel aan om in deze bossen minder houtige biomassa te oogsten dan gebruikelijk is.

Figuur 2 chemische eigenschappen van de bodem (diepte 0-20 cm) op een afstand van 0,1 m en 5,0 m van verterende beukenstammen in het Zoniënwoud (met aanduiding van de standaardfout). Significantieniveaus zijn bepaald met gepaarde t-testen: * = P<0,05; ** = P<0,01; *** = P<0,001 (Fayt *et al.*, 2006).

Figure 2 chemical characteristics of the topsoil (0-20 cm depth) at 0.1 and 0.5 m distance from decomposing beech trunks in the Zoniënwoud (standard error indicated). Significance levels are determined by paired t-tests: * = P<0,05; ** = P<0,01; *** = P<0,001 (Fayt *et al.*, 2006).

Summary

Harvesting less or more biomass to mitigate the impact of nitrogen deposition in Natura 2000 forests?

Luc De Keersmaecker, Hannes Cosyns, Arno Thomaes & Kris Vandekerckhove

Eutrophication, acidification, dead wood, habitat restoration

Forests are ecosystems with large pools of nutrients stored in the aboveground and belowground biomass, the litter layer, and the soil. In many forests in Flanders (northern Belgium) and the Netherlands nutrient pools increase as succession from open land, e.g. heathland, is still going on. In ancient woodland sites, nutrient pools increase following the cessation of intensive harvesting practices applied in the past centuries. The increased deposition of nitrogen interferes with this

process, by increasing nitrogen availability but also by causing soil acidification.

It seems difficult, if not impossible, to remediate both acidification and eutrophication in forest habitat on weakly buffered soil. Nutrient balances indicate that, by harvesting more biomass than only stems, the nitrogen pool can be reduced significantly. However this measure removes relatively more essential nutrients (calcium, magnesium, potassium) than nitrogen and thus aggravates the acidification and nutrient imbalances caused by nitrogen deposition. Furthermore, habitat for dead wood inhabiting species is removed as well. We conclude that in most cases, harvesting less biomass in Natura 2000 forest habitat is the best option, although it cannot address the eutrophication caused by nitrogen deposition.

Literatuur

Baeten, L., B. Bauwens, A. De Schrijver, L. De Keersmaecker, H. Van Calster, K. Vandekerckhove, B. Roelandt, H. Beeckman & K. Verheyen, 2009. Herb layer changes (1954-2000) related to the conversion of coppice-with-standards forest and soil acidification. *Applied Vegetation Science* 12: 187-197.

Bebber, D.P., S.C. Watkinson, L. Boddy & P.R. Darrah, 2011. Simulated nitrogen deposition affects wood decomposition by cord-forming fungi. *Oecologia* 167: 1177-1184.

Cosyns, H., L. De Keersmaecker, A. Verstraeten, P. Roskams & N. Cools, 2015. Verfijnen van een algemeen afwegingskader voor biomassa-oogst in Vlaamse bossen tot een werkbaar terreininstrument. Begeleidend document: Methodiek en onderbouwing. Brussel. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.

Cunha, A., S.A. Power, M.R. Ashmore, P.R.S. Green, B.J. Haworth & R. Bobbink, 2002. Whole Ecosystem Nitrogen Manipulation: An Updated Review. Peterborough. JNCC.

De Schrijver, A., J. Mertens, G. Geudens, J. Staelens, E. Campforts, S. Luyssaert, L. De Temmerman, L. De Keersmaecker, S. De Neve & K. Verheyen, 2006. Acidification of forested podzols in north Belgium during the period 1950-2000. *Science of the Total Environment* 361: 189-195.

De Schrijver, A., I. Janssens, J. Staelens & K. Wuyts, 2011. Koolstof- en nutriëntenkringlopen In: J. den Ouden, B. Muys, F. Mohren & K. Verheyen (red.). *Bosecologie en Bosbeheer*. Leuven. Acco: 167-175.

Englisch, M. & R. Reiter, 2009. Standörtliche Nährstoff-Nachhaltigkeit bei der Nutzung von Wald-Biomasse. *BFW-Praxisinformation* 18: 13-15.

Ewald, J., S.M. Hennekens, S. Conrad, T. Wohlgemuth, F. Jansen, M. Janssen, J. Cornelis, H.G. Michiels, J. Kayser, M. Chytry, J.-C. Gégout, M. Breuer, C. Abs, H. Walentowski, F. Starlinger & S. Godefroid, 2013. Spatial and temporal patterns of Ellenberg nutrient values in forests of Germany and adjacent regions - a survey based on phytosociological databases. *Tuexenia* 33: 93-109.

- Fayt, Ph., M. Dufrière, E. Branquart, D. Dufour, P. Hastir, J.-M. Henin, Ph. Lejeune, J. Lhoir, C. Pontégnie, B. Van Der Wijden, S. Verkem, V. Versteirt & R. Walley, 2006.** Research project to study patterns, roles and determinants of wood-dependent species diversity in Belgian deciduous forests (XYLOBIOS). Brussel. Belspo.
- Graveland J., R. van der Wal, J.H. van Balen & A.J. van Noordwijk, 1994.** Poor reproduction in forest passerines from decline of snail abundance on acidified soils. *Nature* 368: 446-448.
- Hart, S.C., 1999.** Nitrogen transformations in fallen tree boles and mineral soil of an old-growth forest. *Ecology* 80: 1385-1395.
- Jagers op Akkerhuis, G.A.J.M., L.G. Moraal, M.T. Veerkamp, R.J. Bijlsma, O. Vorst & K. van Dort, 2007.** De rol van doodhoutsspots voor de biodiversiteit van het bos. Veldonderzoek naar de rol van doodhoutsspots bij de vestiging van zeldzame insecten, paddenstoelen en mossen. Wageningen. Alterra.
- Jansen, A.J.M., J.H.J. Schaminée, R. Bobbink, N.A.C. Smits & H. Weersink, 2015.** 3. Herstelmaatregelen. In: N.A.C. Smits & D. Bal (red.). Herstelstrategieën stikstofgevoelige habitats. Ecologische onderbouwing van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS), Deel I. Alterra Wageningen UR & Programmadirectie Natura 2000 van het Ministerie van Economische Zaken.
- Johnson C.E., T.G. Siccama, E.G. Denny, M.M. Koppers & D.J. Vogt, 2014.** In situ decomposition of northern hardwood tree boles: decay rates and nutrient dynamics in wood and bark. *Canadian Journal of Forest Research* 44: 1515-1524.
- Jong, J.J. de, J.J. van den Briel, W. de Vries & J.H. Spijker, 2014.** Aanzet voor een adviessysteem voor oogst uit het bos. Voor een evenwichtige nutriëntenbalans en een goede functie vervulling van het bos. Wageningen, Alterra.
- Kuehne, C., C. Donath, S.I. Müller-Using & N. Bartsch, 2008.** Nutrient fluxes via leaching from coarse woody debris in a *Fagus sylvatica* forest in the Solling Mountains, Germany. *Canadian Journal of Forest Research* 38: 2405-2413.
- Leuschner, Ch., 1993.** Resource availability at three presumed stages of a heathland succession on the Lüneburger Heide, Germany. *Journal of Vegetation Science* 2: 255-262.
- Lucassen, E.C.H.E.T, L.J.L. van den Berg, A.J.P Smolders, R.C.H. Aben, J.G.M. Roelofs & R. Bobbink, 2014.** Bodemverzuring en achteruitgang zomereik. *Landschap* 31/4: 185-193.
- Ovington, J.D., 1965.** Organic production, turnover and mineral cycling in woodlands. *Biological Reviews* 40: 295-336.
- Rinne, K.T., T. Rajala, K. Peltoniemi, J. Chen, A. Smolander & R. Mäkipää, 2017.** Accumulation rates and sources of external nitrogen in decaying wood in a Norway spruce dominated forest. *Functional Ecology* 31: 530-541.
- Rode, M.W., Ch. Leuschner, C. Clau, E. Danner, V. Gerdemann, S. Margraf & M. Runge, 1993.** Changes in nutrient availability and nutrient turnover during heathland-forest succession in NW Germany. *Scripta Geobotanica* 21: 85-96.
- Shortle, W.C. & K.T. Smith, 2015.** Wood decay fungi restore essential calcium to acidic soils in northern New England. *Forests* 6: 2571-2587.
- Tack, G., P. van den Brecht & M. Hermy, 1993.** Bossen van Vlaanderen: een historische ecologie. Leuven, Davidsfonds.
- Vandekerkhove, K., L. De Keersmaecker, R. Walley, F. Köhler, L. Crevecoeur, L. Govaere, A. Thomaes & K. Verheyen, 2011.** Reappearance of old-growth elements in lowland woodlands in northern Belgium: do the associated species follow? *Silva Fennica* 45: 909-935.
- Vangansbeke, P., A. De Schrijver, P. De Frenne, A. Verstraeten, L. Gorissen & K. Verheyen, 2015.** Strong negative impacts of whole tree harvesting in pine stands on poor, sandy soils: a long-term nutrient budget modelling approach. *Forest ecology and Management* 356: 101-111.
- Verstraeten, A., G. Sioen, J. Neiryck & M. Hens, 2012.** Bosgezondheid in Vlaanderen. Bosvitaliteitsinventaris, meetnet Intensieve Monitoring Boscösystemen en meetstation luchtverontreiniging. Resultaten 2010-2011. Brussel. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
- Waal, R.W. de, R.J. Bijlsma, E.M. Dijkman & M.M. van der Werff, 2001.** Stekelvarendominantie in bossen op arme bodems. *De Levende Natuur* 102: 118-122.
- Wolf, R.J.A.M., W.J. Dimmers, P.W.F.M. Hommel, G.A.J. Jagers op Akkerhuis, J.G. Vrieling & R.W. de Waal, 2006.** Bekalking en toevoegen van nutriënten. Evaluatie van de effecten op het boscö-systeem - een veldonderzoek naar vegetatie, humus en bodemfauna. Wageningen. Alterra.
- Zang, Ch. & A. Rothe, 2013.** Effect of nutrient removal on radial growth of *Pinus sylvestris* and *Quercus petraea* in Southern Germany. *Annals of Forest Science* 70: 143-149.