

# De bladstrooiselkwaliteit beïnvloedt bodems in gematigde loofbossen sterker dan de landgebruiksgeschiedenis of stikstofdepositie

28 maart 2019 14:41 door Sybryn Maes



Bosbodems zijn essentiële onderdelen van het bosesysteem omwille van hun rol in de koolstof-, nutriënten- en waterhuishouding en hun bijdrage aan de biodiversiteit door de rijkdom aan bodemfauna en -flora. Als we de functies van onze bosbodems willen behouden, is het van groot belang dat we kunnen inschatten hoe sterk de invloed zal zijn van globale milieuveranderingen op bosbodems in de toekomst. Naast globale milieuveranderingen zoals deze in landgebruik en in atmosferische stikstof- en zwaveldepositie worden bosbodems ook beïnvloed door de bladstrooiselkwaliteit van de aanwezige boomlaag en het oorspronkelijk moedermateriaal. Verschillende studies hebben reeds aangetoond dat deze factoren individueel een invloed kunnen hebben op bosbodems, maar er zijn weinig vergelijkende studies beschikbaar die het relatief belang van de factoren vergelijken voor Europese bosbodems. Daarom wilden we hier nagaan hoe bepaalde bodemkenmerken in gematigd

Europees bos terzelfdertijd beïnvloed worden door de factoren *bladstrooiselkwaliteit*, *landgebruiksgeschiedenis*, *atmosferische depositie*, en *het moedermateriaal*. Als we beter begrijpen welke invloedsfactoren sturend zijn voor bosbodems in gematigd Europees loofbos, kunnen we bosbeheerders beter informeren over hoe hun beheerkeuzes een impact kunnen hebben op bosbodems in een veranderend milieu.

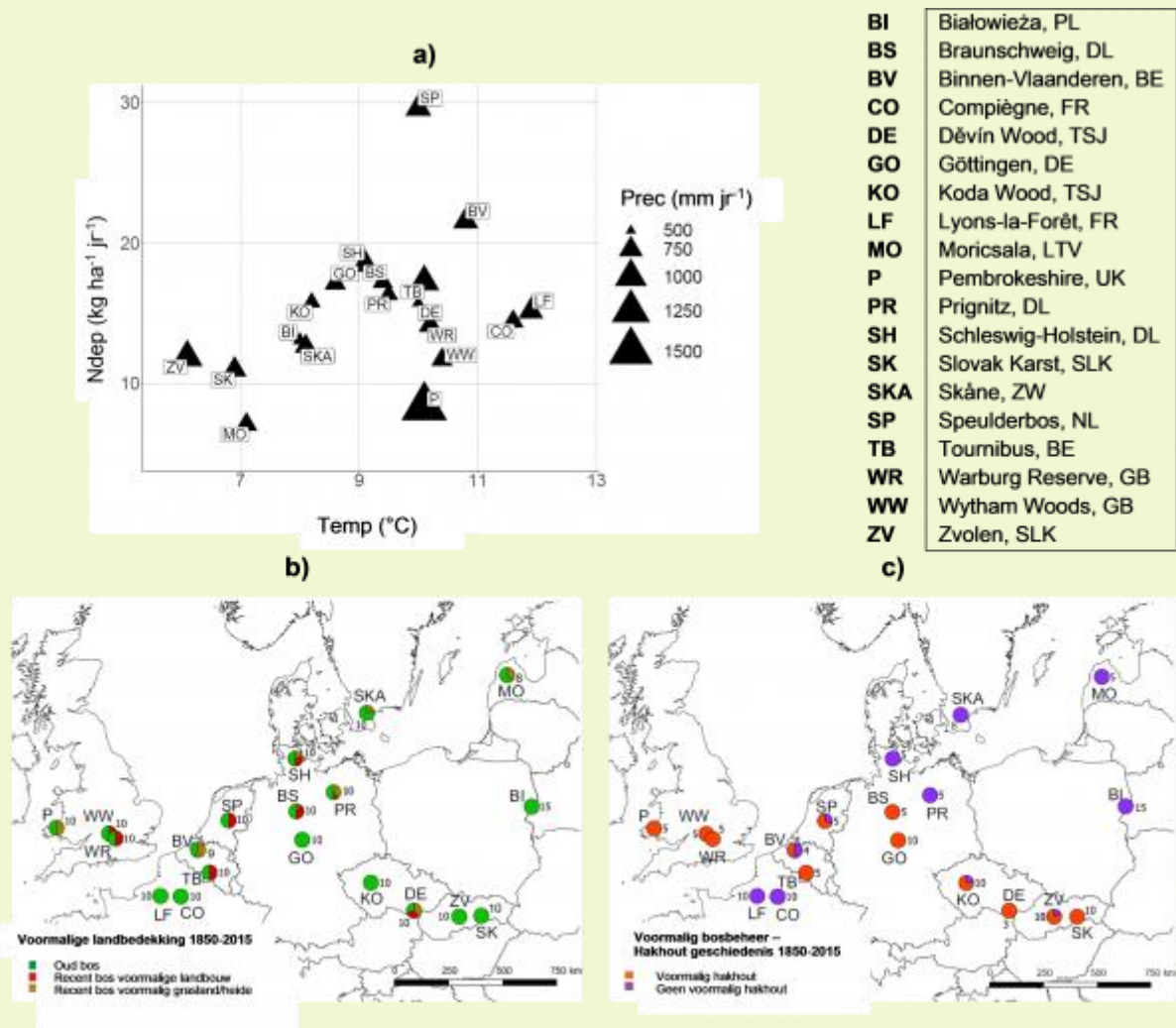
## Studieontwerp: karakterisatie van bosbodems langsheen gradiënten van de invloedsfactoren

### Bodemkenmerken

Om na te gaan hoe bosbodems beïnvloed worden door de factoren, onderzochten we verschillende kenmerken die de fysische en chemische toestand van de bovenste bodemlaag in het bos weerspiegelen: *bulkdensiteit*, *aandeel uitwisselbare basische kationen* ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ) *koolstof/stikstof-verhouding*, *biobeschikbaar* en *totaal fosforgehalte*, *bodem organische stofgehalte*, *pH* en *bladstrooiselmasse*. Om deze te kwantificeren, verzamelden we bodemstalen in 192 100m<sup>2</sup> plots in 19 verschillende regio's met Europees gematigd loofbos (Fig. 1, 2). De regio's werden zo geselecteerd dat de invloedsfactoren varieerden langsheen de regio's. Om te vermijden dat de variatie in depositie ook overlapte met de variatie in andere klimatologische variabelen zoals temperatuur en neerslag, selecteerden we onze regio's terzelfdertijd langsheen een temperatuur- en neerslaggradiënt (Fig. 2a).



*Figuur 1: Bodemstalen nemen in het veld gebeurde met een bodemboor (links). De fysisch-chemische bodemkenmerken werden bepaald op de bovenste minerale bodemlaag (0-20 cm). Enkel de bladstrooiselmasse werd bepaald op de organische laag, die we met een houten vierkant bemonsterden in elke plot (rechts).*



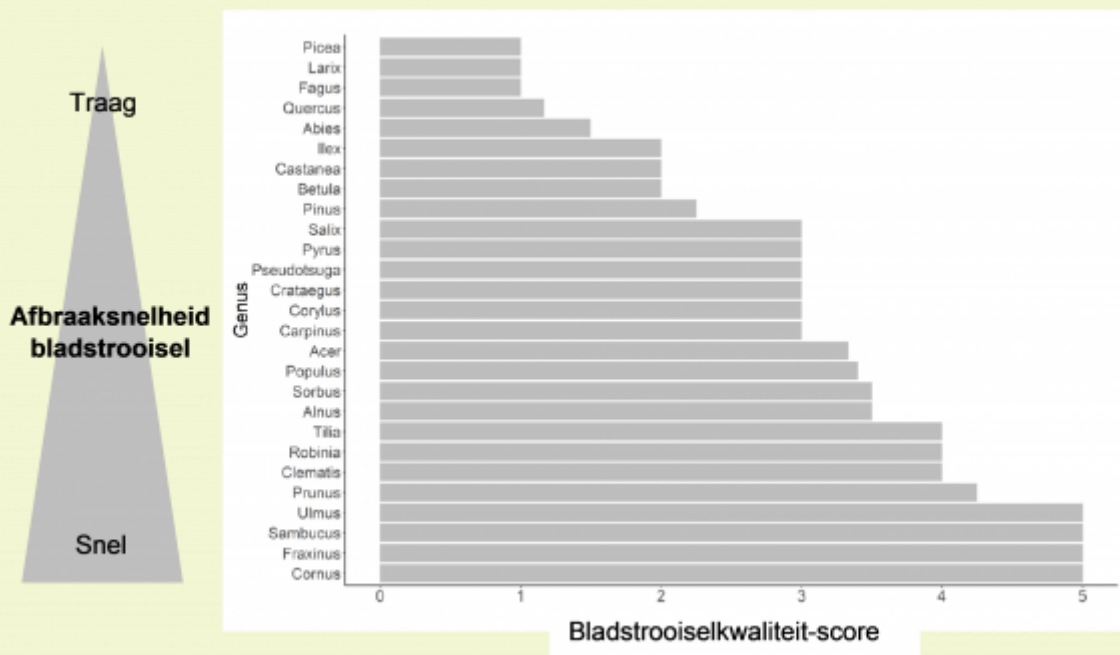
Figuur 2: **a)** Milieugradiënten waarlangs de 19 regio's werden geselecteerd: **gemiddelde jaartemperatuur** (Temp –  $^{\circ}\text{C}$  – voor 1980-2015) en **stikstofdepositie** (Ndep –  $\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$  – in het jaar 2000) worden getoond, en de symboolgrootte weerspiegelt de **gemiddelde jaanneerslag** (Prec –  $\text{mm jr}^{-1}$  – voor 1980-2015). **b, c)** Verspreiding van de landgebruiksgeschiedenis van de bemonsterde plots, zowel **b) voormalig landgebruik** als **c) voormalig bosbeheer**: hakhoutgeschiedenis of niet. Elk taartdiagram toont het aandeel plots per regio in **b) oud bos** (groen) vs. **recent bos op voormalige landbouwgrond** (rood) vs. **recent bos op voormalig grasland/heide** (bruin); en van **c) voormalig hakhout** (oranje) vs. **geen voormalig hakhout** (paars). Naast elk diagram wordt de regiocode en het totaal aantal bemonsterde plots per regio aangegeven.

## Invloedsfactoren

### BLADSTROOISELKWALITEIT

De samenstelling van het bladerdek beïnvloedt de bodem in een bos via de variatie in bladstrooiselkwaliteit van verschillende boom- en struiksoorten. Soorten zoals beuk (*Fagus sylvatica*) of fijnspar (*Picea abies*) die zuurder bladstrooisel produceren, d.i. met o.a. hogere lignine/stikstof-ratios, vertonen tragere afbraaksnelheden dan soorten met rijker strooisel zoals gewone es (*Fraxinus excelsior*) of gewone vlier (*Sambucus nigra*) (Fig. 3). Aangezien een snellere strooiselafbraak leidt tot snellere circulatie van nutriënten in het bosecosysteem, kan

de *bladstrooiselkwaliteit* in een proefvlak een grote invloed hebben op de specifieke bodemkenmerken op die locatie (De Schrijver et al. 2010, Hermy & Vandekerckhove 2004). Gematigde bosbodems ontvangen daarenboven grote hoeveelheden bladstrooisel per jaar, wat het belang van strooiselafbraakprocessen benadrukt. Onderzoek toont aan dat er jaarlijks maar liefst  $4000 \pm 2000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  bladstrooisel op de bodem belandt in gematigde loofbossen, waardoor ongeveer  $45 \text{ kg stikstof ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ ,  $3.2 \text{ kg fosfor ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ , en  $10.5 \text{ kg kalium ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  terug in de bodem beschikbaar komt voor planten en dieren (Liu et al. 2004, Neumann et al. 2018). Qua nutriënteninput is dit vergelijkbaar met het jaarlijks toedienen van  $80 \text{ kg NPK}$  meststof met een 16% stikstof-, 4% fosfor- en 8% kaliumgehalte aan de bosbodem.



*Figuur 3: Bladstrooiselkwaliteit-score (1-5) per boom/struik-genus dat voorkwam in onze plots. De aanwezige boom- en struikgenera weerspiegelen een gradiënt van tragere (lagere score) naar snellere (hogere score) afbraaksnelheid van het strooisel. Merk op dat soorten van het genus *Alnus* (Els), desondanks hun rijkere strooisel (strooiselkwaliteit 3.5) stikstof kunnen fixeren waardoor ze eerder bodemverzurend zijn.*

Onze proefvlakken bevonden zich in gemengde loofbossen, d.w.z. met een niet-homogeen bladerdek. Om het effect van de bladstrooiselkwaliteit op de bosbodem na te gaan, berekenden we voor iedere plot een gewogen gemiddelde strooiselkwaliteit-score o.b.v. de samenstelling van de boom- en struiklaag. Hiervoor kenden we eerst aan elke aanwezige boom- en struiksoort een kwaliteitsscore toe tussen 1 (zeer lage kwaliteit dus zeer trage afbraak) en 5 (zeer hoge kwaliteit dus zeer snelle afbraak), gebaseerd op een eerdere classificatie van Hermy (1985) (Fig. 3). Over alle plots heen was het bereik van de bladstrooiselkwaliteit 0.89-5, met een gemiddelde score van 2.2.

### ATMOSFERISCHE DEPOSITIE

Verhoogde depositie van stikstof en zwavel kan leiden tot een overmaat aan nutriënten in de bodem (eutrofiëring), en mogelijk ook tot bodemverzuring, wat reeds werd aangetoond voor verschillende bosbodems in Europa. De regio's waar we plots bemonsterden varieerden in atmosferische stikstofdepositie tussen ca. 8 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> en ca. 30 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> (Fig. 2a), terwijl de kritische stikstofdepositiewaarde in gematigd bos rond 18 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> ligt. Hierdoor bemonsterden we zowel in regio's waar stikstof vermoedelijk nog limiterend is voor plantengroei, maar ook waar stikstof mogelijk in overmaat aanwezig is en *stikstofverzadiging* in de bodem optreedt. Naast atmosferische stikstofdepositie (Ndep) berekenden we ook een maat voor verzuring voor elke regio o.b.v. de stikstof- en zwaveldepositie.

### LANDGEBRUIKGESCHIEDENIS

Europese bossen, en zeker ook bossen in Vlaanderen zoals we ze vandaag zien kenden vaak al grote veranderingen in hun landgebruik de voorbije eeuwen, zij het door een tijdelijke omvorming naar een ander landgebruik (bvb. landbouwgrond), of door een transformatie in het toegepaste bosbeheer (bvb. van hakhout- naar hooghoutbeheer). Bossen op voormalige landbouwgrond zijn een typisch voorbeeld van hoe het vroegere landgebruik een impact kan hebben op de huidige bosbodemenkenmerken. Door vroegere bemesting en herhaaldelijk oogsten hebben deze bodems vaak een hogere bulkdensiteit, pH, en fosforgehaltes, en ook lagere koolstofstocks en koolstof/stikstofgehaltes dan bodems in "oud bos" (d.i. bossen die de laatste eeuwen niet werden omgevormd maar continu bebost waren). Ook de bosbeheergeschiedenis kan de huidige bodemtoestand beïnvloeden, bvb. doordat historische beheersvormen zoals hakhout de bodem meer zou uitputten door frequentere kappingen i.v.m. hooghout, alhoewel hier geen consensus rond bestaat.

Om zowel het effect van voormalig landgebruik als van voormalig bosbeheer te kunnen onderzoeken, selecteerden we plots met een verschillende bedekking- en beheergeschiedenis (Fig. 2b-c). Voor landgebruik onderscheidde we 3 categorieën plots: (i) in "oud bos", d.i. continu beboste plots sinds minimum 1850, (ii) in "recent bos op voormalige landbouwgrond" en (iii) in "recent bos op voormalige grasland of heide". De recente bosplots werden (her)bebost na 1850. Voor bosbeheer onderscheidde we plots met een voormalig hakhoutbeheer vs. plots zonder een voormalig hakhoutbeheer in de periode tussen 1850 en 2015.

### MOEDERMATERIAAL

Het effect van het moedermateriaal op de bosbodemenkenmerken gingen we na door de plots in drie verschillende bodemtypes te classificeren d.m.v. een clusteranalyse. Op basis van de textuur en het carbonaatgehalte in de bodem groepeerden we een plot als "klei-carbonaatbodem", "kleibodem zonder carbonaat", of "zandige bodem". Aangezien zandige bodems armer zijn dan kleibodems zonder carbonaat en dan klei-carbonaatbodems, verwachtten we een effect hiervan te zien op bvb. aandeel uitwisselbare kationen, nutriëntengehaltes, en pH.

### *INTERACTIES TUSSEN INVLOEDSFACTOREN*

Het is natuurlijk zo dat de verschillende invloedsfactoren niet noodzakelijk onafhankelijk zijn van elkaar, wat het nagaan van hun relatieve invloed bemoeilijkt. Zo is de huidige samenstelling van het bladerdek in een bos, en dus de bladstrooiselkwaliteit, vaak al gedeeltelijk bepaald door een combinatie van andere factoren zoals bodemtype, klimatologische omstandigheden, of boomsoortenkeuze door vroegere bosbeheerders. Zo vertoonden de rijkere klei-carbonaatplots bvb. inderdaad een iets hogere bladstrooiselkwaliteit (mediaan = 2.7) dan de plots in andere bodemtypes (mediaan = 1.7). Dergelijke afhankelijkheden moeten we in het achterhoofd houden bij het interpreteren van de resultaten. Tenslotte onderzochten we bovenop de effecten van de verschillende factoren op bosbodemkenmerken ook potentieel interactieve effecten tussen de invloedsfactoren, nl. of de effecten van de bladstrooiselkwaliteit verschilden naargelang het bodemtype, de landgebruiksgeschiedenis (Baeté 2004; Dossche 1998), en de atmosferische depositie.

## **Hoe beïnvloeden de invloedsfactoren de bodemkenmerken in gematigd Europees loofbos?**

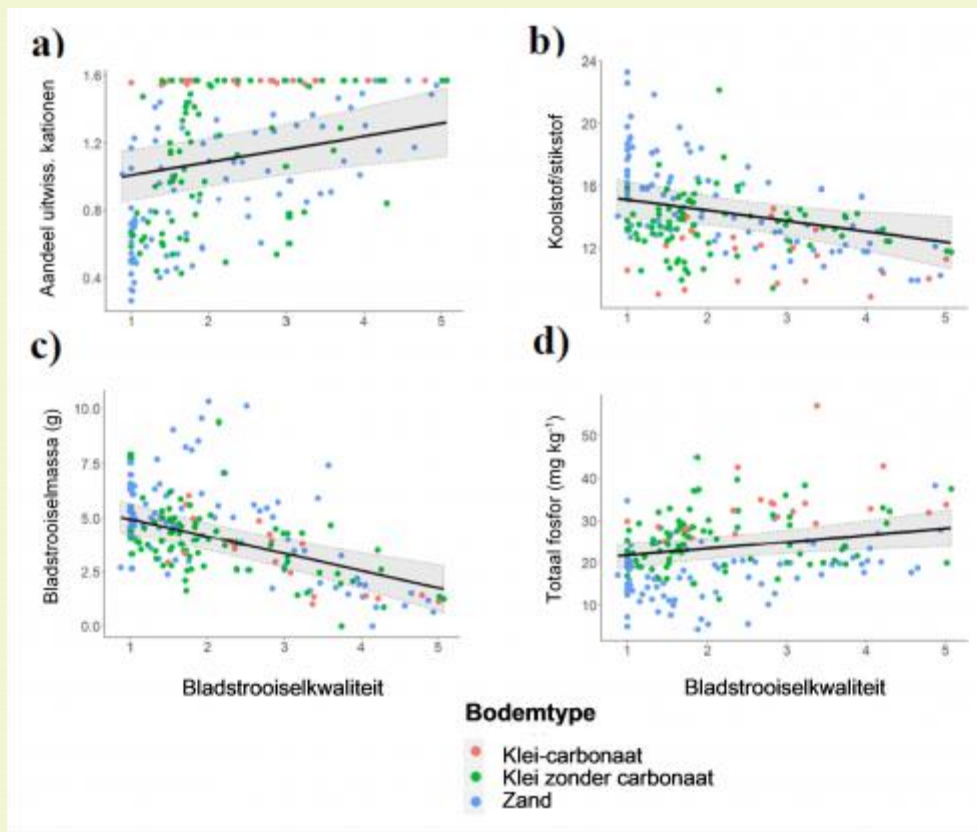
Langsheen de studiegradiënt had de bladstrooiselkwaliteit van de boom- en struiklaag een sterkere invloed op de bodemkenmerken dan de landgebruiksgeschiedenis of atmosferische stikstofdepositie (Tabel 1). Proefvlakken met hogere bladstrooiselkwaliteit vertoonden bodems met een hoger aandeel uitwisselbare basische kationen en totaal fosforgehalte, en een lagere C/N-ratio en bladstrooiselmasse (Fig. 4). De sterke invloed van bladstrooiselkwaliteit op bosbodemkenmerken sluit aan bij voorgaand onderzoek, maar uit deze studie werd duidelijk dat de strooiselkwaliteit zelfs een sterkere invloed heeft dan andere sturende factoren. Een bladerdek met boom- en struiksoorten met “rijker” strooisel (hogere kwaliteit-score) resulteert in rijkere condities in de bovenste bodemlaag via snellere afbraakprocessen (bvb. minder dik strooiselpakket, hogere nutriëntenbeschikbaarheid van fosfor, basische kationen, en stikstof – Fig. 4). Dit wijst erop dat bosbeheerders via de samenstelling van het bladerdek in gematigde loofbossen de bodemkenmerken in een gewenste richting kunnen beïnvloeden (althans in de bovenste bodemlaag) (De Schrijver et al. 2011; Hommel et al. 2007).

Tabel 1: Effecten van de **invloedsfactoren** (linkerkolom: bladstrooiselkwaliteit, atmosferische stikstof depositie (Ndep), voormalig landgebruik [oud bos vs. recent bos op voormalige grasland of heide vs. recent bos op voormalige landbouwgrond], voormalig hakhoutbeheer, en het moedermateriaal [klei-carbonaatbodems vs. kleibodems zonder carbonaat vs. zandbodems] op de onderzochte **bodemkenmerken** (bovenste rij: bulkdensiteit, aandeel uitwisselbare kationen, koolstof/stikstof ratio, bladstrooiselmasse, biobeschikbaar en totaal fosfor, pH, en bodem organische stofgehalte). Een rode achtergrond met ↓ wijst op een negatief effect van de invloedsfactor op het bodemkenmerk, groen met ↑ op een positief effect, en de grootte van de pijl wijst op het belang van het effect. Een witte achtergrond wijst op geen effect. De in vet aangeduide effecten (pijlen) werden als significant beschouwd en verder besproken.

		Bulk-densiteit	Aandeel uitwiss. kationen	Koolstof/stikstof ratio	Bladstrooisel massa	Bio beschikbaar fosfor	Totaal fosfor	pH	Bodem organische stof
	<b>Bladstrooisel kwaliteit</b>	↓	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑
	<b>Ndep</b>	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↑
<b>Voormalige land Bedekking*</b>	<b>Recent bos (Grasland/Heide)</b>	↑	↓	↑		↑	↑		↓
	<b>Recent bos (Landbouw)</b>	↑	↑	↓		↑	↑		↓
	<b>Voormalig hakhout</b>	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↑
<b>Moeder Materiaal**</b>	<b>Bodemtype (Klei zonder carbonaat)</b>	↑	↓	↑	↑		↓	↓	↓
	<b>Bodemtype (Zand)</b>	↑	↓	↑	↑		↓	↓	↓

\*effect wordt telkens vergeleken met de plots in "Oud bos"

\*\*effect wordt telkens vergeleken met de plots in "Klei-carbonaat bodems"



Figuur 4. Effecten van de bladstrooiselkwaliteit op a) het aandeel uitwisselbare basische kationen, b) de koolstof/stikstof-ratio, c) de bladstrooiselmasse en d) het totaal fosforgehalte.

Noch stikstofdepositie (Ndep), noch verzuringsgraad beïnvloedde de bodemkenmerken significant in onze studie. Bodemkenmerken verschilden ook nagenoeg niet naargelang de landgebruiksgeschiedenis van de plot, alhoewel plots op voormalige landbouwgrond toch een hoger gehalte aan biobeschikbare fosfor vertoonden dan oude bosplots of plots op voormalig grasland/heide, vermoedelijk gerelateerd aan vroegere bemesting tijdens landbouwperiodes (Tabel 1).

Daarnaast was het bodemtype zoals verwacht ook bepalend voor enkele bodemkenmerken: de bulk densiteit en koolstof/stikstof-ratio steeg, terwijl het totaal fosforgehalte, de pH en het bodem organische stofgehalte daalde van de rijkere klei-carbonaat bodems naar de intermediair rijke kleibodems zonder carbonaat en verder naar de armere zandbodems (Tabel 1).

We vonden nagenoeg geen interactieve effecten tussen de bladstrooiselkwaliteit en de overige invloedsfactoren, wat erop wijst dat de gevonden effecten van de strooiselkwaliteit op bosbodemkenmerken onafhankelijk zijn van de regionale stikstofdepositie, de landgebruiksgeschiedenis, of het aanwezige bodemtype. Er werd wel een interactie tussen de strooiselkwaliteit en het voormalig landgebruik geobserveerd voor biobeschikbaar en totaal fosforgehalte, waarbij strooiselkwaliteit een verschillende invloed had in oude bossen (geen sterk effect) in vergelijking met voormalige grasland/heide plots (stijging) en voormalige landbouwplots (geen sterk effect/lichte daling). Dit suggereert dat het bij de



boomsoortenkeuze belangrijk is om ook de landgebruiksgeschiedenis van een bos in acht te nemen.

Belangrijk om te vermelden is dat we in deze studie proefvlakken bemonsterden in relatief mesotrofe boscondities, d.w.z. geen extreem arme of rijke bodemcondities, en tegelijk dat we focusten op gemengde loofbossen waarin het aandeel naaldbomen beperkt was. Onze resultaten gelden dus voor gematigde Europese loofbossen van gemiddelde bodemrijkdom, en mogen niet zomaar doorgetrokken worden naar zeer arme bodems of bossen gedomineerd door naaldbomen, waar het belang van de invloedsfactoren op bodems kunnen verschillen.

## Conclusies voor bosbeheer

Voor gematigde, gemengde Europese loofbossen met intermediaire bodemrijkdom bleek de bladstrooiselkwaliteit van boom- en struiklaag een sterkere invloedsfactor te zijn van bodemkenmerken in de bovenste bodemlaag dan atmosferische stikstofdepositie of landgebruiksgeschiedenis. Dit betekent dat bosbeheerders in deze bossen via de keuze van de boom- en struiksoorten die ze aanplanten of bevoordelen bepaalde bodemkenmerken in een gewenste richting kunnen sturen, zij het om de huidige bodemtoestand te behouden of verarmde of verstoorde bodems te verbeteren qua vruchtbaarheid of productiviteit (De Schrijver et al. 2011). Door tijdens de soortenkeuze rekening te houden met de strooiselkwaliteitscore, en dus de potentiële strooiselafbraaksnelheid (Fig. 3) kan een beheerder bvb. de buffercapaciteit (aandeel uitwisselbare kationen), nutriëntenbeschikbaarheid, de dikte van het strooiselpakket en uiteindelijk de pH van de bosbodem sturen. Zo zullen soorten met “rijker” bladstrooisel zoals gewone es, of linde de bodemvruchtbaarheid eerder bevorderen dan soorten met “armer” bladstrooisel zoals eik of beuk (Hommel et al. 2007). Desalniettemin heeft het bodemtype, gedeeltelijk bepaald door het onderliggend moedermateriaal, ook een sterk effect op bodemkenmerken, en kan dit mee bepalend zijn voor de boomsoortenkeuze. Onze resultaten gelden echter voor mesotrofe bodemcondities, d.i. binnen het kationenuitwisselingsbufferbereik en bodems op de rand van het aluminiumbufferbereik, waar boomsoorteneffecten het sterkst zijn. Bij zeer arme bodems waar aluminium-toxiciteit reeds optreedt ( $\text{pH} \ll 4$ ), kunnen de sturende effecten van boomsoorten op bodemcondities sterk verschillend zijn of niet meer optreden, bvb. door het gebrek aan belangrijke bodemfauna voor strooiselafbraak zoals regenwormen (Van Nevel et al. 2014). Ten slotte kan het uiteindelijke bladstrooiseleffect op bepaalde bodemkenmerken (bvb. fosforgehalte) ook verschillen naargelang het vroegere landgebruik, zoals hier werd aangetoond.

### Referenties

Baeté, H. 2004. Hoog bezoek aan twee boomsoortenproeven in de bosreservaten. Bosreservatennieuws. 4. 10.

De Schrijver, A. Wuyts, K., Van Nevel, L., Mohren, F. 2010. Nutriëntenbeheer. In: Den Ouden, J., Muys, B., Mohren, F. & Verheyen, K. (Eds.). Boscologie en bosbeheer (p. 403-415). Leuven: Acco.

De Schrijver, A., Van Uytvanck, J., Thomaes, A., Schelfhout, S., Mertens, J. 2011. Ecologische bosontwikkeling op voormalige landbouwgronden in de praktijk: keuzes voor beheerders. *BOSREVUE*, (37), 7–11.

Dossche, T. 1998. Ecologische effecten van bladstrooisel van loofboomsoorten op de ontwikkeling van recent beboste landbouwgronden (Mortagnebos-Zwevegem). In: Verstraeten, A., De Keersmaeker, L., Vandekerckhove, K., De Bruyn, L., Smets, K., Willems, L. 2003. Evaluatie van beheersmaatregelen om de ecologische waarde van populieraanplantingen te optimaliseren. Geraardsbergen: Instituut voor bosbouw en wildbeheer.

Hermly, M., 1985. Ecologie en fytosociologie van oude en jonge bossen in binnen-Vlaanderen. University of Ghent.

Hermly, M. & Vandekerckhove, K. 2004. Bosgebieden. In: Hermly, M., De Blust, G., Sloodmaekers, M. (Eds.). *Natuurbeheer* (p. 307-357). Leuven: Davidsfonds.

Hommel, P.W.F.M., Waal, R., Muys, B., den Ouden, J., Spek, T. 2007. Terug naar het lindewoud: strooiselkwaliteit als basis voor ecologisch bosbeheer.

Liu, C., Westman, C.J., Berg, B., Kutsch, W., Wang, G.Z., Man, R., Ilvesniemi, H., 2004. Variation in litterfall-climate relationships between coniferous and broadleaf forests in Eurasia. *Global Ecology and Biogeography* 13, 105–114. <https://doi.org/10.1111/j.1466-882X.2004.00072.x>

Neumann, M., Ukonmaanaho, L., Johnson, J., Benham, S., Vesterdal, L., Novotný, R., Verstraeten, A., Lundin, L., Thimonier, A., Michopoulos, P., Hasenauer, H., 2018. Quantifying Carbon and Nutrient Input From Litterfall in European Forests Using Field Observations and Modeling. *Global Biogeochemical Cycles* 32, 784–798. <https://doi.org/10.1029/2017GB005825>

Van Nevel, L., Mertens, J., De Schrijver, A., De Neve, S., Verheyen, K., 2014. Can shrub species with higher litter quality mitigate soil acidification in pine and oak forests on poor sandy soils? *For. Ecol. Manage.* 330, 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.002>.

Dit onderzoek was mogelijk d.m.v. financiële ondersteuning van het Europees Onderzoeksfonds (ERC PASTFORWARD-project [www.pastforward.ugent.be](http://www.pastforward.ugent.be)). Bedankt aan iedereen die meehielp met de dataverzameling of verwerking. De studie verscheen in het wetenschappelijk tijdschrift *Forest Ecology and Management* als

Maes, S.L., Blondeel, H., Perring, Michael, P., Depauw, L., Brumelis, G., Brunet, J., Decocq, G., den Ouden, J., Härdtle, W., Hédli, R., Heinken, T., Heinrichs, S., Jaroszewicz, J., Kirby, K., Kopecký, M., Máliš, F., Wulf, M., Verheyen, K., 2019. Litter quality, land-use history, and nitrogen deposition effects on topsoil conditions across European temperate deciduous forests. *For. Ecol. Manag.* 433, 405–418.

Gelieve als volgt citeren: Sybryn Maes (2019) De bladstrooiselkwaliteit beïnvloedt bodems in gematigde loofbossen sterker dan de landgebruikgeschiedenis of stikstofdepositie. Bosrevue 76a, 1-11.

ISSN 2565-6953 – Bosrevue 76a