

Advies over duurzaam bosbeheer in de Kempen in het licht van verzuring en klimaatverandering

Adviesnummer:	<u>INBO.A.3641</u>
Auteur(s):	Bruno De Vos, Luc De Keersmaeker & Beatrijs Van der Aa
Contact:	Lieve Vriens (lieve.vriens@inbo.be)
Kenmerk aanvraag:	e-mail op datum van 17 januari 2018
Geadresseerden:	Bosgroep Zuiderkempen T.a.v. Jan Seynaeve Britselaan 20 C 2260 Westerlo jan.seynaeve@provincieantwerpen.be

Dr. Maurice Hoffmann
Administrateur-generaal wnd.

Aanleiding

Bosgroep Zuiderkempen streeft naar rijkere, vitale en weerbare bossen binnen haar werkingsgebied. Ze beschrijven deze als overheersend loofbossen bestaande uit voornamelijk inheemse standplaatsgeschikte soorten die groepsgewijze en individueel gemengd zijn. Ertussen staan pleksgewijs meer dan 100 jaar oude dennen, afgewisseld met een beperkt aantal jonge dennenbestanden. Hier en daar worden kwaliteitsbomen vrijgesteld. Aan de rand bevinden zich bosranden met hoge landschappelijke en ecologische waarde. Verspreid zijn er minstens twee dode bomen per ha in het bos. Men streeft dus naar variatie in leeftijd, structuur en soorten. De bodem speelt hierbij een cruciale rol.

De zandbodems in de Kempen zijn van nature eerder schraal en zuur, en zijn bovendien aantoonbaar verder verzuurd door zure regen sinds de tweede helft van de 20ste eeuw (De Schrijver et al., 2006). De bodems hebben daarnaast een laag organische stofgehalte. Men wil deze via een aangepast beheer verbeteren om te komen tot vitale, weerbare bossen.

De klimaatopwarming zou in de volgende decennia een zwaardere druk kunnen leggen op de vitaliteit van het beperkt aantal inheemse soorten in de Kempense bossen. De introductie van beter aangepaste boomsoorten uit zuidelijke of continentale regio's lijkt om productieredenen zinvol. Mogelijk hebben deze exoten weinig geassocieerde inheemse biodiversiteit, of vormen ze een bedreiging voor inheemse biodiversiteit. Daar staat tegenover dat, naarmate exoten langer in een gebied voorkomen, er meer organismen op voorkomen (inclusief parasieten en prederende soorten).

Vraag

1. Kan de mate van verzuring van een arme zandbodem in de Kempen verminderen door onder scherm schaduw- of halfschaduwsoorten te planten of door zwaar te kappen en pionierssoorten te stimuleren?
2. Hoeveel jaar vergt het om een arme zure zandbodem te transformeren naar een bodem met veel organische stof en een hogere buffercapaciteit naar water en voeding (bodemleven, mycorrhiza ...)?
3. Is het aangewezen om in beperkte mate exoten aan te planten om op lange termijn de biodiversiteit beter in stand te houden of te versterken, als inheemse houtige soorten en de daaraan gebonden biodiversiteit onder druk komen te staan door de klimaatverandering?

Toelichting

1 Algemeen

Om de vragen te beantwoorden is een combinatie van wetenschappelijke kennis en ervaringskennis (conclusies van terreinexperimenten) nodig. Er zijn echter te weinig praktijkexperimenten uitgevoerd én geëvalueerd om een voldoende gefundeerd antwoord te kunnen geven. De hierna beschreven theoretische kennis zou dus in de praktijk nog verder uitgetest moeten worden. Een dergelijke praktijktest rond bosverjonging in de Antwerpse en Limburgse Kempen wordt momenteel uitgevoerd in het [eco2eco interreg project](https://www.eco2eco.info/duurzaam-bosbeheer/bosverjonging/) (<https://www.eco2eco.info/duurzaam-bosbeheer/bosverjonging/>). Het experiment met

kloempen¹ en aanrijking in de plantput zal ongetwijfeld ervaringskennis opleveren nuttig voor het beantwoorden van de tweede vraag. Er worden immers wintereik, beuk, winterlinde, gewone esdoorn en boskers onder scherm aangeplant.

2 Gezonde bodem leidt tot gezond bos, maar de potenties van zandbodems zijn beperkt.

De overwegend zandige bodems (Arenosols, Podzols, zie Dondeyne *et al.* (2015)) in de Kempen hebben hun beperkingen. Per definitie bestaan ze vooral uit een zandfractie (50 µm-2 mm) en hebben ze overwegend een lage leem- (2-50 µm) en kleifractie (< 2 µm). Vooral door de geringe kleifractie (< 15% van de totale minerale fractie) hebben ze (1) een beperkt vermogen om voedingsstoffen vast te leggen op het bodemuitwisselingscomplex (CEC, chemische vruchtbaarheid), (2) een beperkt vermogen om vocht vast te houden (vochtleverend vermogen) en (3) een beperkt vermogen om een goede bodemstructuur (bodemaggregaten) te vormen, onder meer nodig voor een goede lucht-/waterhuishouding. Als de zandbodems ontkalkt zijn (of niet bekalkt werden/worden) hebben ze bovendien een beperkt buffervermogen tegen natuurlijke en door de mens geïnduceerde verzuring (vooral via stikstofdepositie). In zure bodems (pH < 5) kunnen een groot aantal functionele bodemorganismen (bv. anekische regenwormen²) moeilijk of niet overleven en verlopen de bodemprocessen dus anders dan in leem- en kleibodems. Mineralisatie van het organisch materiaal verloopt vooral via schimmels en minder via bacteriën die op (rijke) leem en kleigronden dominant zijn.

Met andere woorden: net zomin je van een pony een trekpaard kan maken kan je van een zandbodem een soort leem- of kleibodem maken die hoog (kan) scoren inzake chemische, fysische en biologische bodemkwaliteit wat aanleiding kan geven tot hoogproductieve, stabiele, robuuste en gemengde bosecosystemen.

De handicap van een beperkt kleigehalte kan je echter in zekere mate verhelpen met organische stof. Een hoger humusgehalte in zandbodems zorgt dat (1) het vermogen om voedingsstoffen vast te leggen gevoelig verhoogt (humus is de enige mogelijkheid om de CEC van zandbodems te verhogen), (2) de bodems veel meer vocht kunnen vasthouden en (3) de bodemstructuur toch kan verbeteren (vergelijk humusrijke opperbodem in bos met structuurloos zand van een landduin). Meer toegankelijke bodeminformatie is te vinden in Ameryckx *et al.* (1995).

Humusopbouw is dus de enige sleutel die beheerders hebben om de Kempische zandbodems op een hoger niveau te tillen. Dat wisten onze voorouders al heel lang: getuige ervan de plaggencultuur en plaggenbodems ("Zbm" op bodemkaart) maar evengoed de 'takbemesting' om de gebieden in de buurt van de Lommelse Sahara tegen winderosie te beschermen en tegelijk de sterk gedegradeerde bodems terug geschikt te maken voor bebossing (bos dat door de zware zwavelhoudende stookolie van de toenmalige (staal)industrie grotendeels verdwenen was). Door de verzurende depositie en luchtverontreiniging gingen de bossen in de nabijheid van de fabrieken teloor. Takbemesting is eigenlijk een bosbouwkundige techniek die -onterecht- in onbruik is geraakt, maar best wel potenties heeft om de bodemvruchtbaarheid van zandbodems op een 'ecologische manier' op te krikken (zie verder).

¹ Kloempen (afgeleid van het Duitse 'Klump') zijn mini-verjongingsgroepjes op beperkte oppervlakte (bv. 7x7 m) bestaande uit 20-50 zaailingen of jonge boompjes. De idee is dat uit elke kloemp later één toekomstboom groeit. Die toekomstboom kan dan topkwaliteitshout leveren of een andere ecosysteemdienst vervullen (bron: [ecopedia](#))

² Regenwormen worden ingedeeld in epigeïsche (strooiselwormen), endogeïsche (bodemwoelers) en anekische (diepgravers). Het zijn deze laatste die verticale gangen graven en bladstrooisel in de bodem inwerken.

Wel dient aangegeven dat de opbouw van een humuslaag een langzaam proces is dat decennia tot honderden jaren kan duren, zeker op armere bodems.

Het congres "De Kempen: arme gronden, rijke bossen" (Vanhaeren, 1991) had als voornaamste conclusie: slechts met een goede humusbouw en weloverwogen soortenkeuze kunnen we in de Kempen rijkere bossen tot stand brengen, rekening houdend met de beperkte mogelijkheden van de zandbodems.

Bovenstaande vragen worden dus herleid tot: (1) hoe kunnen we het meest efficiënt organisch materiaal (humus) in de bodem krijgen en aan welke kwaliteit moet dit organische materiaal voldoen, (2) met welke boomsoortengarnituur (pionierssoorten vs. schaduwverdragende langlevende soorten) kan dit het best/snelst gerealiseerd worden en (3) op welke termijn zal de bodemverbetering door humusbouw vast te stellen zijn.

3 Verhoging van organisch materiaal in de bodem

Verhoging van organisch materiaal in de bodem verloopt grofweg via twee inputs: (1) via de blad/naaldval van boomsoorten, struiken en in mindere mate kruiden, (2) via afgestorven wortels en wortellexudaten³ (rhizodepositie).

Via de blad/naaldval wordt jaarlijks tussen de 2,5-3,5 ton/ha droge stof (DS) aan organisch materiaal op de bosbodem gebracht. Dit betekent ongeveer 1,25-1,5 ton C/ha/jaar. De hoeveelheid bladval verschilt weinig per boomsoort, maar is uiteraard wel functie van bestandsdichtheid en boomleeftijd (grootte van de kroon). Belangrijk is dat naast bladmateriaal ook meer houtig organisch materiaal (twijggjes, dode takken, vruchten ... (ca. 0,5 ton DS/ha volgens de Jong et al. (2015)) de bosbodem bereikt. Omdat ze een hoger lignineaandeel hebben, geeft dit aanleiding tot meer stabiel organisch materiaal in de bodem. De houtige fracties verschillen wel sterk per boomsoort en in de tijd (mastjaren bij beuk en eik bijvoorbeeld). Het organisch materiaal wordt door toedoen van bodemorganismen verder verkleind en afgebroken. Het stimuleren van deze bodemorganismen (schimmels, bacteriën, springstaarten, ... tot regenwormen) kan dus het best gebeuren door nutriëntenrijk organisch materiaal met lage C/N.

De hoeveelheid organische stof die in de strooisellaag opgeslagen is, is het hoogste op de zandgronden in de Kempen (figuur 1). Vaak gaat het om moder en mor⁴ humustypes, dus humustypes met dikke L, F en H lagen⁵ bestaande uit dikke naaldpakketten. Relatief weinig organisch materiaal wordt door de bodemorganismen door bioturbatie⁶ in de minerale bodem ingewerkt, wel via het podzoliseringsproces.

In de Kempische dennenbossen is bekend dat er heel weinig nutriënten in de minerale zandbodem aanwezig zijn en dat bosesystemen hun nutriënten reeds halen in de H(umus) laag, deel van de strooisellaag. Het systeem staat dus als het ware in 'kortsluiting'. Het toont het immense belang aan van de strooisellaag.

Wanneer de nutriëntenreserve met het strooisel mee verwijderd wordt, neem je dus belangrijke reserves aan nutriënten weg van het bos (was vroeger het geval bij strooiselroof

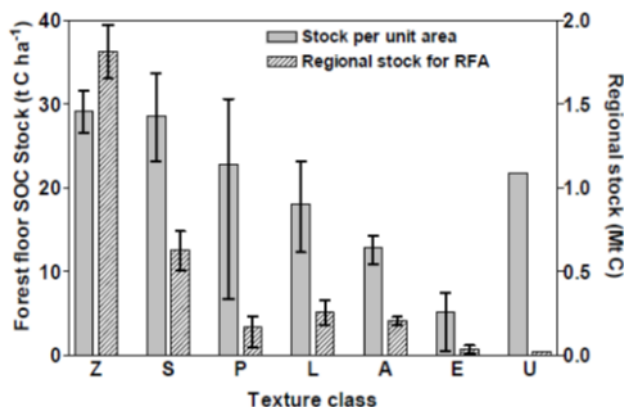
³ Wortellexudaten zijn verbindingen die door de wortel worden uitgescheiden. Wortellexudaten zijn een belangrijke voedingsbron voor micro-organismen zoals bacteriën en schimmels, waaronder de mycorrhiza.

⁴ Er kunnen drie humustypes onderscheiden worden. Mull, moder en mor. Mor is een weinig verteerde organische strooisellaag dat weinig of niet vermengd is met de onderliggende bodemlaag en waar de afbraak zeer traag verloopt. Mull is een goed verteerde, sterk gemineraliseerde humuslaag die meestal geleidelijk overgaat in de onderliggende bodemlaag. Moder is een tussenvorm tussen mull en mor.

⁵ Strooisellagen kunnen opgesplitst worden in een L (litter), F (Fragmentatie) en H (Humus) laag. Vers bladstrooisel komt in de L laag, wanneer deze verkleind en deels afgebroken is, wordt het een F laag en wanneer de herkomst niet meer herkenbaar is de humuslaag.

⁶ Bioturbatie is het proces van omwoelen van de bodem voornamelijk door de bodemfauna, maar ook door bodemwoelende zoogdieren.

voor o.a. azaleateelt). Ook bij kaalslag mineraliseert deze strooisellaag door rechtstreeks instraling veel sneller en gaan heel wat nutriënten verloren. Dit is een belangrijk argument om kaalkap te vermijden, tenzij heel snelle regeneratie met pionierssoorten mogelijk is.



Figuur 1. Koolstofvoorraad (ton/ha) in de strooisellaag per textuurklasse in Vlaamse bossen. Zand (Z) en lemig zand (S) bodems hebben veruit de hoogste koolstofstocks (moder en mor humustypes). De totale regionale voorraad voor Vlaanderen is volgens de rechtse as in Megaton (Mt) C weergegeven. (De Vos, 2009)

Via de grove wortels en fijnwortels wordt ook een belangrijk aandeel organisch materiaal in de bodem achtergelaten. Schattingen geven aan dat er jaarlijks ca. 1,67 ton DS/ha en 0,5-3 ton DS/ha fijnwortels worden geproduceerd in een gemiddeld bosbestand (de Jong et al., 2015). In feite is dus de ondergrondse productie vergelijkbaar met de bovengrondse (de natuur streeft naar evenwichten). De turnover van die ondergrondse wortels kan heel hoog zijn en dus veel 'organisch materiaal' achterlaten in de bodem.

Recente gegevens tonen aan dat de koolstofstocks in bosbodems toenemen met gemiddeld 0,2-0,35 t C/ha/jaar en dat dubbel zoveel C afkomstig is van 'belowground litter', dus afgestorven wortels, mycorrhizen en wortellexudaten. Er komt dus meer C in de bodem van wortels dan van de bladval (Davidson et al., 2002).

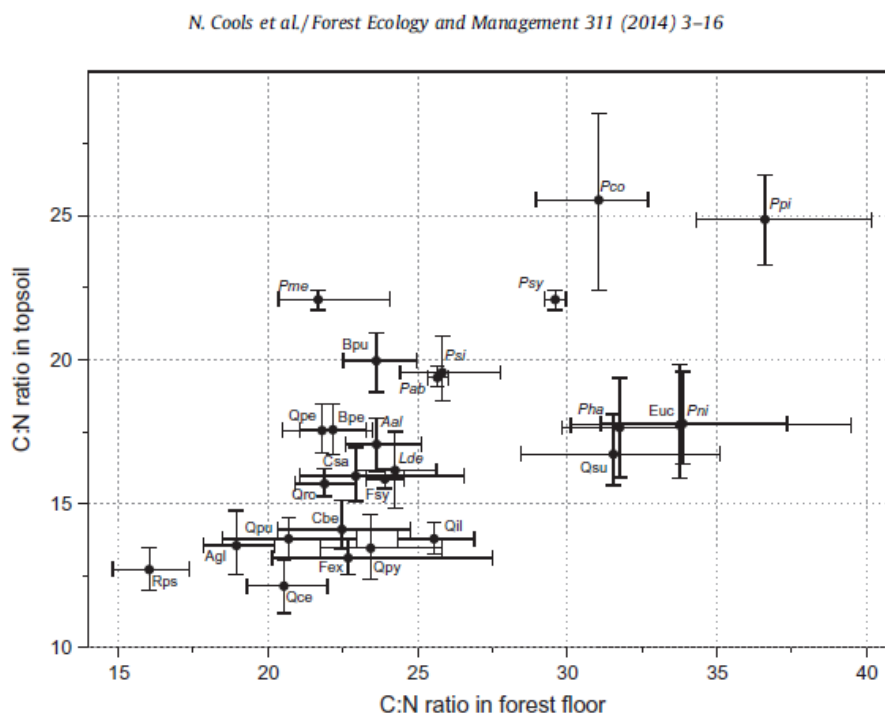
4 Effect van boomsoort (pioniers versus climaxsoorten, licht versus (half)schaduwsorten)

4.1 Boomsoortenkeuze

Boomsoortenkeuze is ongetwijfeld van belang. De C/N verhouding in de strooisellaag en de minerale bodem bijvoorbeeld, verschilt heel sterk per boomsoort. Uit eigen bijdragen tot onderzoek van meer dan 4000 bosproefvlakken in Europese bossen bleek de boomsoort meer dan het bodemtype bepalend te zijn voor de C/N waarden in strooisel en bodem (Cools et al., 2013). De gemiddelde C/N verhouding in de minerale bodem is ca. 20 (de Jong et al., 2015) en in de strooisellaag ~25 (zie figuur 2). Typerend was dat boomsoorten met de laagste C/N verhoudingen net deze waren die luchtstikstof kunnen fixeren door middel van wortelknobbeltjesbacteriën (hoog intern N gehalte dus lage C/N verhouding) zoals valse acacia (*Robinia pseudoacacia*, Rps) en zwarte els (*Alnus glutinosa*, Agl). Ook witte els (*Alnus incana*) heeft die potentie. Anderzijds, op veel locaties waar N-overmaat (eutrofiëring) reeds aan de orde is, zal bijkomende natuurlijke stikstoffixatie leiden tot verdere verzuring en nutriëntenonevenwichten zoals werd vastgesteld bij het bebossen van landbouwgrond in het Mortagnebos, waar zwarte els sterkere bodemverzuring veroorzaakte dan beuk en eik (zie ook verder in onderdeel 4.2.1.3).

Het onderplanten van die "lage C/N"-soorten of een intermediair bestand met deze boomsoorten voor een "bodembeteringsfase" is interessant op arme zandgronden om het bodemleven te activeren. Zwarte els stelt wel hogere eisen inzake vochtleverantie. De bodemgeschiktheid voor alle soorten voor het volledige Vlaamse buitengebied kan nagegaan worden via onze [BOBO applicatie](#) (De Vos, 2001).

Merk op in figuur 2 hoe grove den, *Pinus sylvestris* (Psy) aan de andere kant van het spectrum zit (hoge C/N zowel in bodem als strooisellaag) – de soorten die nog verder zitten zijn voornamelijk mediterrane soorten. Tussenin zitten de berken: ruwe berk (*Betula pendula*, Bpe) en zachte berk (*Betula pubescens*, Bpu). Interessant aan deze studie was dat we de C/N niet afgeleid hebben uit de bladconcentraties maar wel degelijk uit de strooisellaag en bodem. Want, afhankelijk van de soort, wordt heel wat stikstof getransloceerd in de boom(kroon) vooraleer het blad valt. Deze C/N-waarden geven een rechtstreekse link met de bodemkwaliteit zoals die bepaald wordt door de aanwezige boomsoorten.



Figuur 2. Gemiddelde C/N verhouding in de strooisellaag (X-as) ten opzichte van de C/N verhouding in de opperbodem (Y-as). Foutmarges tonen 95% betrouwbaarheidsintervallen rond het gemiddelde. Als de marges overlappen zijn de C/N verhoudingen tussen boomsoorten niet significant verschillend. Soorten worden aangegeven door drielettercodes op basis van hun wetenschappelijke naam. Aal: zilverden; Agl: zwarte els; Bpe: zilverberk; Bpu: zachte berk; Cbe: haagbeuk; Csa: tamme kastanje; Euc: Eucalyptus; Fsy: gewone beuk; Fex: es; Lde: Europese lork; Pab: fijnspar; Psi: sitka spar; Pni: zwarte den; Pco: draaiden; Pha: Aleppo den; Ppi Maritime den, Psy: grove den; Pme: Douglasspar; Qce: Turkse eik; Qil: Holm eik; Qpe: wintereik Qpu: zachte eik; Qpu: Pyreneese eik; Qrob: zomereik; Qsu: kurkeik; Rps: Robinea. (Bron: Cools et al. (2014)).

Op arme zandgronden (de Kempen en zandig Vlaanderen) kunnen ratelpopulier, berken en wilde lijsterbes de nutriëntenstatus van naaldbossen verbeteren. Omvorming van homogeen naaldhout naar een hoger aandeel van loofhout heeft een positief effect, door de volgende gecombineerde effecten (De Schrijver et al., 2000; 2004): (1) loofhout neemt meer stikstof op dan naaldhout, wat een ontzurend effect heeft; (2) het strooisel van deze loofboomsoorten is van betere kwaliteit dan van naaldboomsoorten; (3) naaldbomen vangen meer vervuilende depositie dan loofbomen, door de fijne structuur van de naalden en het

wintergroene karakter.

4.2 Basische kationen en toxiciteit

In het kader van de adviesvraag is het belangrijk om het traject dat bodems kunnen doorlopen bij progressieve verzuring voor ogen te houden. Dit staat volledig en helder uitgelegd in hoofdstuk 33, box 33.1 van het boek 'Bosecologie en Bosbeheer' (De Schrijver et al., 2010). leembodems die niet te zeer verzuurd zijn (bijvoorbeeld het Mortagnebos), situeren zich in het (zwakke) bufferbereik met basenuitwisseling. In dit pH bereik, dat zich afgerond situeert tussen 7 en 4,5, gaat verzuring samen met de verdringing van basen (Ca, Mg, K) door protonen (H⁺) op het uitwisselingscomplex van de bodem. Historisch situeerden zich ook heel wat zandgronden in dit bufferbereik, maar actueel zijn ze verder verzuurd en bevinden ze zich overwegend in het Al- of Fe-bufferbereik (De Schrijver et al., 2006). In dit bereik zijn basen bijzonder schaars en worden Al en Fe vrijgesteld, wat voor heel wat soorten aanleiding geeft tot onevenwicht en toxiciteit.

Omwille van hun strooiselkenmerken wordt verondersteld dat 'rijk strooiselsoorten' zoals gewone esdoorn, winterlinde e.a. in staat zijn om het proces van verzuring te stoppen en de bodem van het Al- of Fe-bufferbereik terug in het bufferbereik van basenuitwisseling te brengen. Naast de C/N en C/P verhouding in het blad zijn inderdaad concentraties aan basische kationen: calcium (Ca), magnesium (Mg) en kalium (K) zeer belangrijk om dit effect te bekomen, zoals gesuggereerd wordt in de vraag naar pionierssoorten. In het boek 'Terug naar het lindewoud' (Hommel et al., 2007) wordt een nogal idealistisch beeld geschetst alsof de linde (maar ook es, olm, esdoorn) verzuurde en gedegradeerde bosbodems sterk kunnen "verbeteren", omdat ze veel Ca in hun blad hebben. Eigen onderzoek, in de praktijkvoorbeelden van § 4.2.1. verder toegelicht, noopt ertoe om dit idealistische beeld wat bij te stellen. Om te beginnen stellen deze 'rijk strooiselsoorten' doorgaans vrij hoge eisen aan de bodem. Ze hebben een hoge behoefte aan basen en ze zijn ook erg gevoelig voor Al-toxiciteit.

Deze soorten zijn door hun strooiselkenmerken inderdaad in staat om door hun strooiselkwaliteit het humustype sterk te verbeteren (van mor naar moder of van moder zelfs naar oligo(mull)) (Jabiol et al., 2000), maar als de basische kationen niet voldoende beschikbaar zijn uit bodemmineralen door verwerking, door depositie van fijn stof, door toevoer via basenrijk grondwater of door bekalking, dan is het bodemverbeterend effect marginaal, zeker op verzuurde en humusarme zandgronden. De rijk strooiselsoorten kunnen dus slechts basen accumuleren in het bladstrooisel als die ook in voldoende mate beschikbaar zijn.

Door de betere strooiselkwaliteit zal het bodemleven wel geactiveerd worden en het organisch materiaal dieper in de bodem ingewerkt kunnen worden, zullen minder agressieve organische zuren de bodems verder degraderen, maar echte 'regeneratie' van de bodem is zonder inbreng van kalk een utopie. Zelfs met bekalking (in de plantput) is het effect op de bladvalkwaliteit relatief beperkt.

4.2.1 Praktijkvoorbeelden

4.2.1.1 *Lindenproef in het Zoniënwoud vergeleken met referentie in Brakel*

Een lindebestand in het Zoniënwoud kan als voorbeeld dienen. Ook al betreft het leemgrond, de bodems (type Albelubisols /Retisols⁷) in Zoniën zijn in de bovenste meter sterk ontkalkt en gedegrademd. De meer dan behoorlijke groei van de beuken is enkel te verklaren omdat hun wortels kunnen reiken aan de kalkrijke loess (op 2,5-5 m diepte) waar ze al hun

⁷ Voor naamgeving van bodemtypes volgens World Reference Base zie Dondeyne et al. (2015).

basische kationen kunnen halen. Deze 'basen'-voorraad is echter meestal niet aanwezig in de Kempen (in tegenstelling tot bijvoorbeeld in Voeren).



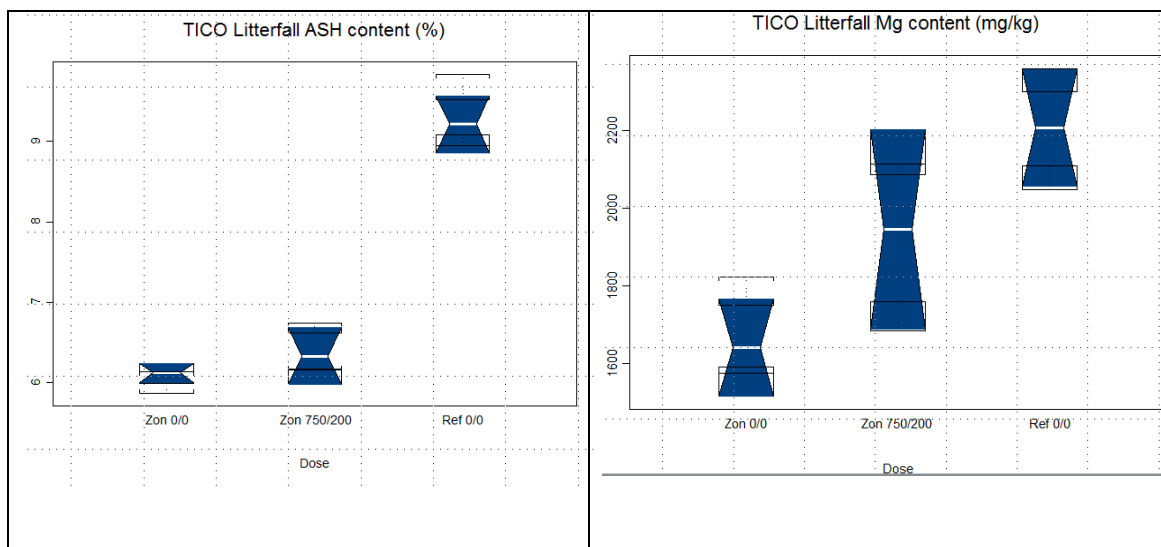
Foto 1. Chemische bladvalanalyse in de Lindeproef in Zoniën (herfst 2006)

De aanleg van de lindenproef (*Tilia cordata*) dateert van 1994 en gebeurde door toepassing van dolomiet & thomaskali in de plantput. De dosis varieerde van 0/0 (blanco) tot 750/200, dit is 750 g dolomiet en 200 g thomaskali in elke plantput. In de herfst van 2006 (de bomen waren toen ca. 14 jaar) werd aan de hand van bladvalnetten (4 per blok) de bladval opgevangen en chemisch geanalyseerd. De resultaten werden vergeleken met lindenstrooisel uit een referentiesite in de Vlaamse Ardennen (Brakel) van even oude (jonge) winterlinden, maar op een rijke colluviale leembodem met een quasi neutrale pH en hoge basenverzadiging. Bij de referentie was geen bekalking toegevoegd (ook niet in de plantput).

In Zoniën werden de tussenliggende dosissen van dolomiet (voor Ca en Mg aanrijking) en thomaskali (P, K en Mg aanrijking) niet getest. Er werd aangenomen dat als de maximumdosis geen effect had, dit ook niet voor lagere dosissen het geval zou zijn.

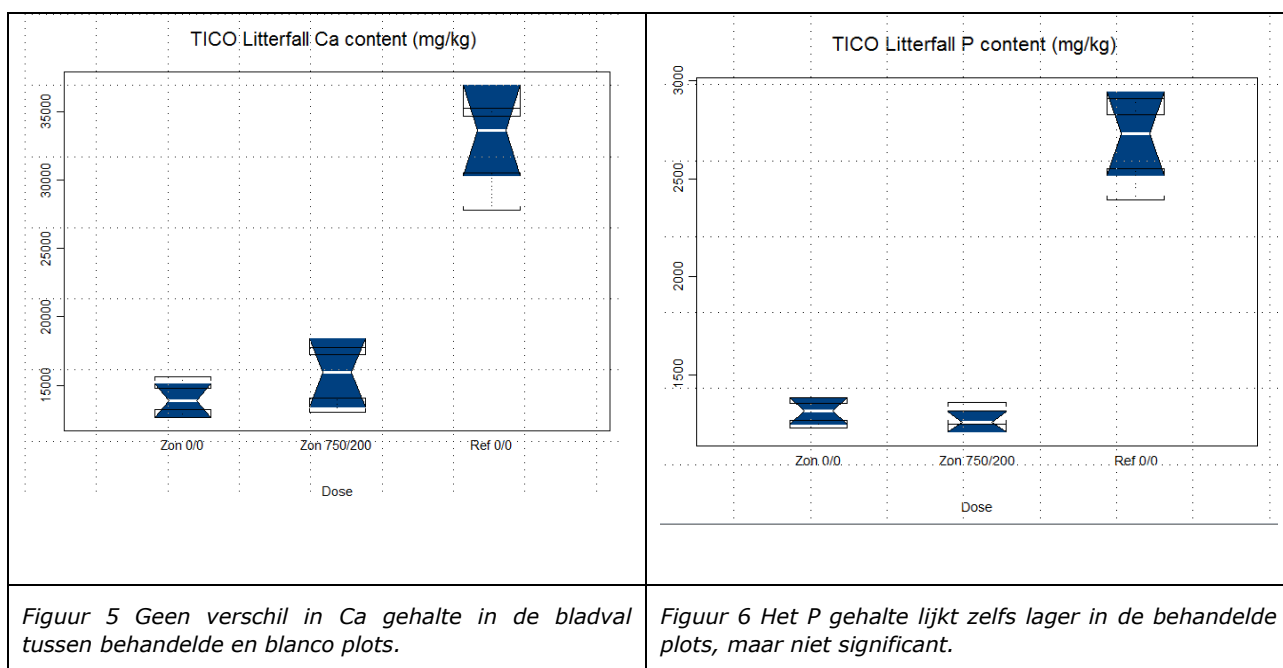
De resultaten waren ontnuchterend: er was geen significant verschil tussen de concentratie aan mineralen, N, P, K, Ca, Mg en S in de bladval in de 'aangerijkte' blokken t.o.v. de referentie, maar wel een gigantisch verschil met de bladval van de linden op de referentiesite (Brakel) op rijke, niet gedegradeerde bodems. De conclusie was dat zelfs de hoogste dosis in de plantput (750/200) 12 jaar na aanplanting geen enkel duidelijk detecteerbaar effect meer heeft op de bladvalconcentraties. Vermoedelijk was zelfs de 'hoge dosis' totaal ontoereikend voor de zure bosbodem. Het 'standplaatsverbeterend' effect is dus ook nihil. Een tweede belangrijke conclusie is dat winterlinde (op de referentiesite) wel degelijk in staat is hoge concentraties aan nutriënten en basische kationen via de bladval te (re)cycleren, vooropgesteld dat deze kationen voorradig zijn. Zijn ze dat niet (blanco) dan kan die boomsoort ook niets in omloop brengen.

De figuren 3 tot 6 illustreren de verschillen in bladgehalten van de winterlinde en het 'effect' van de plantputbekalking/bemesting. Indien de inkepingen (notches) van de boxplots elkaar overlappen, is er geen significant verschil.



Figuur 3 Het totale asgehalte aan mineralen in blanco (0/0) en zwaarste bekalkingsdosis (750/200) in de Zoniënproef en op de referentiesite (0/0) in Brakel.

Figuur 4 Een duidelijk verhoogd gehalte aan magnesium in de bekalkte plantput, maar wel niet significant verschillend van de blanco's (0/0) in Zoniën en de referentiesite.



Figuur 5 Geen verschil in Ca gehalte in de bladval tussen behandelde en blanco plots.

Figuur 6 Het P gehalte lijkt zelfs lager in de behandelde plots, maar niet significant.

4.2.1.2 Bekalkings- en boomsoortenproef in Ravels (beboste heide op natte gepodsoliseerde zandbodem)

Hetzelfde fenomeen als op verzuurde leembodem in het Zoniënwoud verwachten we op de verzuurde, humusarme Kempische bodems. Wilg, linde, esdoorn hebben wel de potenties om beschikbare nutriënten snel in omloop te brengen en de standplaats te verbeteren, maar dan moeten die eerst in voldoende en beschikbare hoeveelheden aangebracht worden op de standplaats. Door de hoge N-depositie in Vlaanderen, vooral in regio's zoals de Kempen en zandig Vlaanderen, moet stikstof uiteraard niet aangevoerd worden, maar P, K, Ca, Mg en

eventuele sporenelementen wellicht wel, en in de juiste verhoudingen, wil men veeleisende boomsoorten laten aanslaan en hierdoor een duidelijk bodemverbeterend effect realiseren.

De resultaten van een bekalkingsproef die in 1992 werd opgestart in het gewestbos van Ravels, kunnen ons een inzicht geven in de mogelijkheden en beperkingen van gewone esdoorn in de Kempen.

Het perceel waar de bekalkingsproef werd uitgevoerd, ligt op een I-Sdg bodem volgens de Belgische bodemkartering, dus een vochtige lichte zandbodem met leemsubstraat op minder dan 80 cm diepte. Wellicht is de Kempense klei aanwezig op geringe diepte. Deze geologische formatie dagzoomt verder naar het zuiden ter hoogte van Turnhout. Dit bodemtype is representatief voor de Noorderkempen: vrij vochtige, fijne lemige zandgronden.

Omwille van de potentie van dit bodemtype voor meereizende boomsoorten is er in het gewestbos van Ravels een blokkenproef uitgelegd, waarbij een combinatie van boomsoort (eik - niet onderzocht, beuk en esdoorn) en bekalking met 3 ton per ha traag werkende dolomiet werd uitgetest. Dit was in die periode de standaard bekalkingsdosis die o.m. in Duitsland werd toegepast om de effecten van verzurende depositie te mitigeren.

In het gewestbos van Ravels is eveneens een Level-II proefvlak aanwezig, waar in die periode een jaarlijkse depositie van meer dan 50 kg N per ha gemeten werd. Nu is de verzurende depositie nog ongeveer de helft van begin jaren 1990. De depositie is er nog steeds hoger dan de kritische depositiewaarde (KDW) en de analyse van het bodemwater in de level-II site wijst uit dat er nog steeds verzuring optreedt (Verstraeten, 2018).

De analyse van de bekalkingsproef, van 1993 tot 1995, wees uit dat esdoorn niet kon overleven zonder de bekalking. De pH van het bodemwater was niet significant verhoogd door bekalking, maar de molaire verhouding van $(Ca+Mg)/Al$ in het bodemwater was veel gunstiger in de bekalkte proefvlakken dan in de onbekalkte, waardoor er minder risico was op toxiciteit van Al bij gewone esdoorn, die hiervoor gevoelig is. In niet bekalkte proefvlakken was de groei van esdoorn dan ook aanzienlijk lager dan op bekalkte (tabel 1) en in 1995 was de sterfte zonder bekalking al aanzienlijk. Het Ca- en Mg-gehalte van de bladeren van esdoorn in bekalkte proefvlakken was aanzienlijk hoger (tot meer dan het dubbele) dan in proefvlakken zonder bekalking. Globaal was de nutriëntenvoorziening onvoldoende zonder bekalking, maar ook met bekalking waren er heel wat tekorten (tabel 2).

Op de bekalkte proefvlakken groeide esdoorn dus aanvankelijk wel goed en nam de soort de via bekalking aangeboden Ca en Mg op, maar enkele decennia later zijn de bomen grotendeels afgestorven (Patrick Engels, persoonlijke mededeling). Het besluit is dus dat in deze regio met hoge stikstofdepositie, op een relatief vochtige en leemhoudende zandbodem, de esdoorns ondanks de bekalking niet in staat zijn gebleken om de aangeboden Ca en Mg in omloop te houden en zo de groeiplaats duurzaam geschikt te houden voor deze veeleisende soort.

Tabel 1. Gemiddelde jaarlijkse hoogtegroei (cm) van gewone esdoorn (*Acer pseudoplatanus*) en beuk (*Fagus sylvatica*) in bekalkte en onbekalkte proefvlakken in het gewestbos van Ravels, met een aanduiding van de significantie van de verschillen tussen bekalkt en onbekalkt (uit De Keersmaeker et al., 2000)

	<i>Acer pseudoplatanus</i>				<i>Fagus sylvatica</i>			
	Control	Limed	Test statistic	p	Control	Limed	Test statistic	p
1993	13.7	28.4	53.76	<0.001	5.6	6.1	0.61	0.436
1994	13.5	46.6	102.50	<0.001	38.0	46.2	2.18	0.140
1995	8.8	47.6	104.99	<0.001	61.8	59.0	0.62	0.432
Total	36.0	122.6	120.62	<0.001	105.4	111.3	0.24	0.626

Tabel 2. Nutriëntgehaltenes in de bladeren van gewone esdoorn (*Acer*) en beuk (*Fagus*), in bekalkte en onbekalkte proefvlakken in het gewestbos Ravels. De gehaltenes zijn beoordeeld volgens Van den Burg (1988): ++ = optimaal; + = voldoende; - = onvoldoende (uit De Keersmaeker et al., 2000)

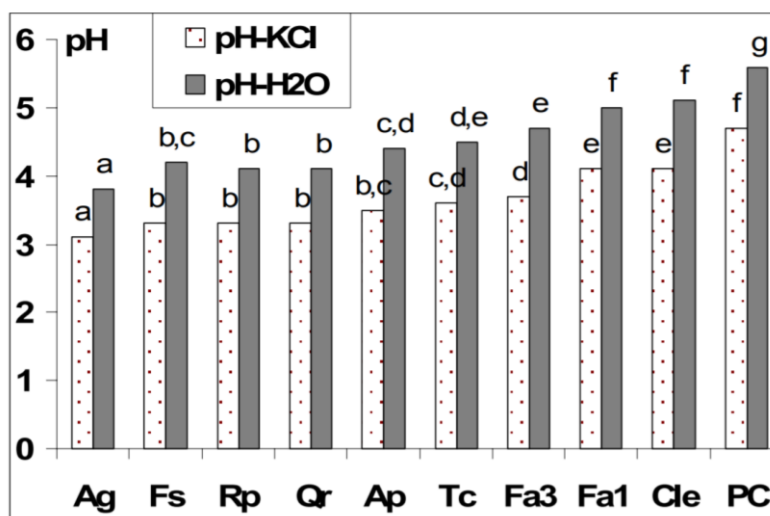
	1993		1994		1995	
	Control	Limed	Control	Limed	Control	Limed
<i>Acer</i>						
Ca	2894 -	6882 +	3906 -	5856 +	2065 -	5858 +
Mg	1882 +	3657 ++	1067 -	2960 ++	1487 -	1679 +
K	7196 -	6302 -	4286 -	3870 -	7651 -	6642 -
N	29876 ++	31383 ++	26489 +	26425 +	24966 +	21474 -
P	1545 +	1705 +	1163 -	1157 -	1237 -	1387 -
<i>Fagus</i>						
Ca	6040 +	7877 +	2354 -	3812 -	3777 -	4499 -
Mg	1340 -	1817 +	2477 +	4812 ++	1113 -	1817 +
K	5306 -	4570 -	8252 +	6104 +	4727 -	4016 -
N	26087 +	27281 ++	28929 ++	27937 ++	25955 +	23494 +
P	1455 ++	1437 ++	1290 +	1441 ++	1237 +	1219 +

4.2.1.3 Boomsoortenproef in het Mortagnebos (beboste landbouwgrond op leem)

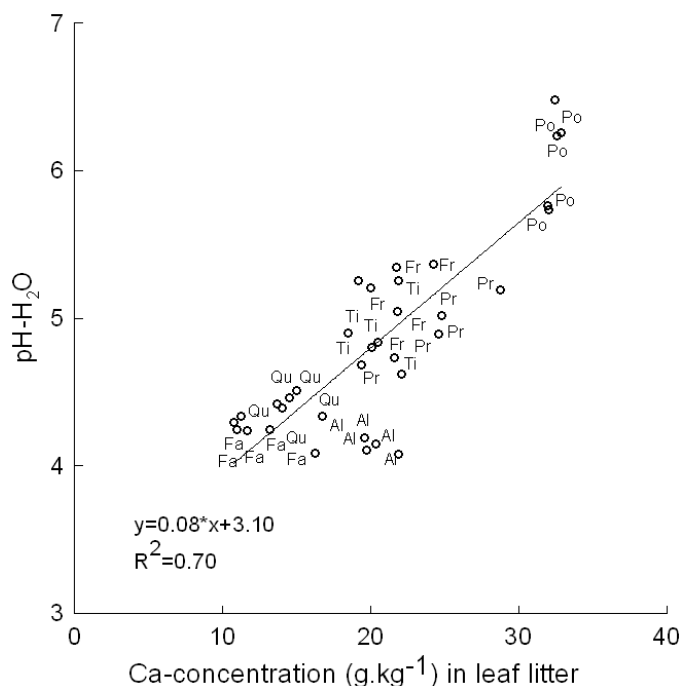
In het Mortagnebos (Sint Denijs in Zwevegem bij Kortrijk) werd in 1972-1973 een bos aangeplant op een Ada vochtige leembodem, die in gebruik was als akker. Naast elkaar werden homogene bestanden van verschillende loofboomsoorten aangeplant, waaronder cultuurpopulier, es, esdoorn, winterlinde, beuk, boskers. In deze case werd het effect van boomsoorten op de bodemontwikkeling van het jonge bos met elkaar vergeleken, waarbij een niet beboste, jaarlijks gemaaide speelweide als referentie diende.

Uit dit onderzoek kunnen we onthouden dat na bebossing van de bemeste en bekalkte landbouwgronden, alle boomsoorten, m.u.v. cultuurpopulieren, in mindere of meerdere mate een verzuring veroorzaken in vergelijking met de niet beboste speelweide (figuur 7). Ook ander onderzoek wijst er op dat na bebossing van landbouwgrond in de regel verzuring optreedt (zie Baeten et al., 2011). De mate van verzuring is meestal sterk gecorreleerd met

de hoeveelheid Ca in het bladstrooisel: soorten die veel Ca opnemen en via het strooisel in omloop houden, kunnen verzuring afremmen (figuur 8)



Figuur 7. Vergelijkend effect van 10 boomsoorten op de bodemzuurtegraad (pH-KCl en pH-H₂O) in het Mortagnebos, na 33 jaar van bebossing. Balken met verschillende letters geven significante verschillen tussen boomsoorten weer. Ag: zwarte els; Fs: beuk; Rp: Robinia; Qr: Amerikaanse eik; Ap: gewone esdoorn; Tc: winterlinde; Fa: Amerikaanse es; Cle: kapvlakte van cultuurpopulier; PC: cultuurpopulier (Thomaes et al., 2006)



Figuur. 8. Verschillen in bodemzuurtegraad (pH-H₂O) van de bovenste minerale bodem als gevolg van een sterk uiteenlopend calciumgehalte in het bladstrooisel van verschillende boomsoorten in het Mortagnebos (Zwevegem). Po: cultuurpopulieren; Fr: Amerikaanse es; Pr: zoete kers; Ti: winterlinde; Al: zwarte els; Qu: Amerikaanse eik; Fa: beuk. (uit Thomaes et al. 2011)

Het onderzoek in het Mortagnebos wijst uit dat er limieten zijn op de mogelijkheden van gewone esdoorn en winterlinde, die bekend staan als 'rijk strooiselsoorten, om basen in omloop te houden. Op een bodem met een ideale textuur en vochtgehalte (Ada), waar het uitwisselingscomplex van de minerale bodem bij bebossing voor een aanzienlijk deel bezet was met basen (speelweide: pH-KCl > 4 en pH-H₂O > 5), zijn ook linde en esdoorn niet in

staat om te voorkomen dat basen uitspoelen. Ook op deze vruchtbare, bekalkte en bemeste leembodem is op termijn van enkele decennia een progressieve verzuring opgetreden, na bebossing met de 'rijk strooiselsoorten' winterlinde en gewone esdoorn.

4.2.2 Hoe breng je die elementen dan in het systeem?

- In het eco2eco project werd recent volgende bijgemengd in de plantput van de boomsoorten die groepsgewijs ingebracht worden in 14 verschillende bossen (3 in Antwerpen, 11 in Limburg). Het gaat over gemengde groepjes van wintereik, beuk, winterlinde en gewone esdoorn:

- 1 kg lavagruis (steenmeel)
- 250 g dolokal (vergelijk met de 750 g uit de lindenproef)
- 50 g thomaskali (200 g in de lindenproef)
- 50 g kieseriet (natuurlijke bron van Mg)
- 20 g hydraterende gelkorrels

Deze laatste zouden moeten dienen om beter vocht vast te houden (waterbergend vermogen van de zandbodem te verhogen). Van nature heeft eigenlijk humus die taak, maar ANB wil dit testen.

Dezelfde boomsoorten werden ook aangeplant met wildbescherming, maar zonder plantputbemesting.

Na enkele jaren zullen we zien of de bladanalyses wijzen op een significant effect zodat het nut van de plantputbemesting kan geëvalueerd worden.

- Naast toediening in de plantput is oppervlakkige bekalking/bemesting een 'klassieke' techniek. In het Pijnven (Hechtel-Eksel) hebben we begin 2000 experimenten gedaan met 'alternatieve' kalkproducten uit de industrie (marmerslijpsel, zuiveringsslib, onthardingskalksteen, schuimkalk (bietennijverheid), LD-slakken (metaalindustrie). Maar ecologisch waren daar toch heel wat nadelen bij: sterke mineralisatie van de strooisellaag, contaminanten (zwarte metalen), te snelle of te trage vrijstelling van basische kationen, nutriëntonevenwichten. Een van de nadelen was de sterke verandering van de kruidlaag van bossoorten naar meer ruderaal soorten.
 - Een 'vergeten' bosbouwtechniek die de laatste decennia weinig of niet werd toegepast, is nutriëntaanrijking via takbemesting en/of groencompost. Dus sterk houtachtige biomassa (ligninehoudend materiaal) aanbrenge, bij voorkeur van nutriëntrijke soorten: wilg, populier, esdoorn, linde, haagbeuk ... en bij voorkeur gegroeid op rijke gronden (bv. langs landbouwpercelen). Dit heeft een aantal voordelen:
 - Aanrijking d.m.v. natuurlijke nutriëntverhoudingen. De proportionele verhouding aan C:N:P:K:Ca:Mg:S is goed, waarbij de elementen organisch gebonden zijn.
 - Het lokale bodem-microbioom (fungi en bacteriën) past zich aan dit materiaal aan. De meeste bodemorganismengroepen (nematoden, springstaarten, pissebedden, wormen etc.) worden geactiveerd.
 - De natuurlijke afbraakprocessen zorgen voor een geleidelijke vrijstelling van de nutriënten na mineralisatie.
 - De (stabiele) koolstofvoorraad in de bodems wordt systematisch verhoogd waardoor het waterbergend en vochtleverend vermogen toeneemt (alternatief voor de gelkorrels).
 - De bodem wordt dus chemisch, fysisch en vooral biologisch voorbereid om de 'betere' boomsoorten te ontvangen.
-

In feite is dit een ruimtelijke uitbreiding van een ecologische techniek van takkenbussels (vooral bedoeld om insecten en kleine zoogdieren extra habitat te bieden), maar hier dus bewust voor het inbrengen van nutriënten, het activeren van het bodemleven en het verhogen van de C stocks.

De hoeveelheden en de periodiciteit van aanbrengen zou berekend moeten worden en moet, zeker in het geval van groencompost, beantwoorden aan de vigerende wetgeving ter zake. Om een idee te geven werd voor bodemverbetering bij een bebossing van arme stuifduinen een (eenmalige) dosis van 114 ton DS (ongeveer 200 ton versgewicht aan groencompost) aangebracht in een perceel in Olen (De Vos, 2000). In bestaande bossen zou bijvoorbeeld om de drie jaar 10% van deze dosis kunnen ingebracht worden, dus ca. 11 ton DS per ha (1 grote oplegger), wat dan weer overeenkomt met ca. 4 x een jaarlijkse bladval.

5 Op welke termijn zal de bodemverbetering vast te stellen zijn?

Bodemprocessen gaan relatief traag. Zo weten we dat 'natuurlijke' C verhoging in de bovenste 10 cm van de bodem pas na 40 jaar significant gemeten kan worden. Met ingrepen zoals takbemesting, en aangenomen dat we dosissen van 4x de normale bladval kunnen toedienen, zal een significante verhoging misschien al na 10 jaar goed meetbaar zijn, maar daarmee is de bodem wellicht niet voldoende aangerijkt met basische kationen en zeker niet ontzuurd (hoewel een lichte pH verhoging mogelijk lijkt).

Zonder daarvoor een wetenschappelijke onderbouwing te kunnen geven, lijkt een omvormingsperiode van 50 jaar of meer realistisch om zowel de standplaats duurzaam te verbeteren als (meer)eisende boomsoorten goede overlevingskansen te bieden.

6 Exoten als strategie voor klimaatadaptatie?

Aan de pro's en contra's van de introductie van boomsoorten en herkomsten uit andere landen en regio's, als strategie om de effecten van klimaatverandering op onze bossen te counteren, is recent een advies gewijd (Vander Mijnsbrugge et al., 2020). In de huidige context raden we af om nu reeds op grote schaal introducties door te voeren van niet-lokale herkomsten en uitheemse soorten, en zeker verdere aanbevelingen die door EUFORGEN worden voorbereid, af te wachten. Experimentele, wetenschappelijk opgevolgde aanplanten kunnen wel uitgevoerd worden, en kunnen onze kennis versterken om in de toekomst goed gefundeerde keuzes te maken als een ingrijpende klimaatverandering dit vereist (Vander Mijnsbrugge et al., 2020).

In bestaande bossen wordt de introductie van exoten, met als specifiek doel om biodiversiteit te behouden of te verhogen, niet overwogen. Het al of niet behouden van exoten die reeds aanwezig zijn in bossen, in functie van biodiversiteit, is echter een andere afweging. Oude exoten kunnen een belangrijke biodiversiteitswaarde hebben, bijvoorbeeld voor holenbroeders of kraamkolonies van vleermuizen (zie <https://www.ecopedia.be/pagina/het-belang-van-holle-bomen-voor-vleermuizen>). Aan de bijmenging van exoten in Natura 2000 boshabitat, en de consequenties hiervan voor de beoordeling van de lokale staat van instandhouding (LSVI), is eveneens een advies gewijd (Thomaes et al., 2012).

Cultuurpopulieren nemen in het advies van Thomaes et al. (2012) een bijzondere plaats in, omdat ze niet natuurlijk verjongen en hierdoor geen invasief karakter hebben. De meeste reeds aanwezige bossen op zure zandgronden in de Kempen zijn evenwel niet geschikt voor cultuurpopulieren. Bemeste en bekalkte landbouwgronden op een zandbodem, zijn mogelijk wel geschikt voor veeleisende soorten, als overwogen wordt om die te bebossen. Wellicht kunnen hier ook veeleisende snelgroeïende pioniers zoals cultuurpopulieren ingezet worden

als 'ecosystem engineers' voor bos met een meer natuurlijke samenstelling op de langere termijn. Aan deze strategie werd een afzonderlijk advies gewijd (De Keersmaeker, 2019). Ook veeleisende soorten die meer een climax karakter hebben, zoals linde en esdoorn, kunnen op bemeste en bekalkte zandgronden overwogen worden.

Conclusie

1. Wat is aan te bevelen om zo snel als mogelijk tot betere bodems te komen (via massale verjonging van pionierssoorten na kaalkap of via het onderplanten met schaduw verdragende soorten die de bodem verbeteren)?

De snelste en meest ecologisch verantwoorde manier om aan bosbodembetering te doen, is volgens ons gebaseerd op een oude bosbouwtechniek van takbemesting, eventueel uitgebreid met/vervangen door groencompost, initieel onder scherm, totdat het bodemleven voldoende is geactiveerd en C in de bodem wordt verhoogd. Dan kunnen groepsgewijs schaduw verdragende soorten worden aangeplant of kan er een snelle verjonging gerealiseerd worden na een (in oppervlakte beperkte) kaalkap. De kaalkap mag echter niet het bodemleven nadelig beïnvloeden (directe belichting en uitdroging, te snelle mineralisatie van het strooisel). Er zal dus met pionierssoorten moeten gewerkt worden. Door de verbeterde bodemcondities zullen die wellicht snel groeien en direct weer zorgen voor een beschermend bosklimaat.

2. Hoeveel tijd vergt het om een arme zure zandbodem te transformeren naar een bodem met veel organische stof en een hogere buffercapaciteit naar water en voeding (bodemleven, mycorrhiza ...)?

Een proces van bodembetering en inbreng van de gewenste soorten zal minstens een vijftal decennia vragen. Alles wat sneller en 'geforceerd' verloopt, zal wellicht niet duurzaam of effectief zijn. Enkel praktijkexperimenten op Kempische zandbodems, of bijkomende evaluatie van vroeger reeds aangelegde proeven, kunnen ons dat leren. De verwachting is dat een zure zandbodem die zich in het Al- of Fe-bufferbereik bevindt en een N-depositie ontvangt boven de kritische depositiewaarde (KDW), door nutriëntengiften en aanplant van rijk strooiselsoorten wellicht niet duurzaam opgetild kan worden naar een minder zure bodem die zich in het bufferbereik door basenuitwisseling situeert.

3. Is het aangewezen om in beperkte mate exoten aan te planten om op lange termijn de biodiversiteit beter in stand te houden?

In bestaande bosesystemen worden geen exoten aangeplant om biodiversiteitsredenen. Er zijn namelijk heel wat risico's aan verbonden: ze kunnen invasief worden en inheemse houtige soorten verdringen of nieuwe aantastingen introduceren die ook inheemse soorten treffen. Het proactief aanplanten van exoten en zuidelijke herkomsten als antwoord op de verwachte effecten van klimaatwijziging, is enkel op experimentele basis aan te bevelen. Het behoud van reeds aanwezige exoten in bossen in functie van biodiversiteit (bijvoorbeeld voor hollenbroeders) of de aanplant van cultuurpopulieren op landbouwgronden als ecosystem engineers in de aanloop naar meer natuurlijk bos, kan een meerwaarde hebben. Aan deze drie aspecten (soorten en herkomsten in functie van klimaatverandering, exoten in bestaande bossen, cultuurpopulieren als ecosystem engineers) zijn eerder reeds adviezen gewijd (zie referentielijst).

Referenties

Ameryckx J.B., Verheye W., Vermeire R. (Eds.), 1995. Bodemkunde. Ameryckx, Gent.

Baeten, L., De Schrijver, A. & De Keersmaecker, L. (2011). Bosplanten in de tang genomen: landschap en bodem als knelpunten voor de ontwikkeling van soortenrijke jonge bossen. *Bosrevue* 37: 2-5.

Cools, N., Vesterdal, L., De Vos, B., Vanguelova, E.I., Hansen, K., 2014. Tree species is the major factor explaining C:N ratios in European forest soils. *Forest Ecology and Management* 311, 3-16.

Davidson, E.A., Savage, K., Bolstand, P., Clark, D.A., Curtis, P.S., Ellsworth, D.S., Hanson, P.J., Law, B.E., Luo, Y., Pregitzer, K.S., Randolph, J.C., Zak, D., 2002. Belowground carbon allocation in forests estimated from litterfall and IRGA-based soil respiration measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* 113, 39-51.

de Jong, J.J., Bloem, J., van Delft, S.P., Hommel, P.W.F.M., de Waal, R.W., 2015. Ecologie van bosbodems: een verkennende studie naar ecologisch functioneren van bosbodems op zandgronden. Alterra Wageningen UR (University & Research centre., Wageningen.

De Keersmaecker L., Neiryck J., Maddelein D., De Schrijver A., Lust N. 2000. Soil water chemistry and revegetation of a limed clear-cut in a nitrogen saturated forest. *Water Air Soil Pollution* 122, 49-62.

De Keersmaecker L. 2019. Advies over de ontwikkeling van ecologisch waardevolle bossen op landbouwgronden. INBO.A.3803.

De Keersmaecker L., De Vos B., Leyman A., Thomaes A., Van der Aa B., Vandekerckhove K. 2015. Advies over de ecologische waarde van gewone esdoorn en inzetbaarheid van deze soort voor de bebossing van voormalige landbouwgronden. Adviezen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO.A.3386). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

De Keersmaecker, L., K. Vandekerckhove & G. De Blust. 2012. Advies betreffende het effect van bosbeheer op dennenorchis (*Goodyera repens*). Adviezen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO.A.2012.121). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

De Schrijver, A., Van Hoydonck, G., Nachtergale, L., De Keersmaecker, L., Lust, N. 2000. Comparison of nitrate leaching to groundwater under Silver birch (*Betula pendula*) and Corsican pine (*Pinus nigra ssp. laricio*). *Water Air and Soil Pollution* 122, 77-91.

De Schrijver, A., Nachtergale, L., Staelens, J., Luyssaert, S., De Keersmaecker, L., Lust, N. 2004. Comparison of throughfall and soil solution chemistry between a high-density Corsican pine stand and a naturally regenerated silver birch stand. *Environmental Pollution* 131, 93-105

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

De Schrijver, A., Wuyts, K., Van Nevel, L., Mohren, F. 2010. 33 Nutiëntenbeheer. In: den Ouden, J., Muys, B., Mohren, F. & Verheyen, K. *Bosecologie en Bosbeheer*. Acco Leuven/Den Haag, pp. 403-415.

De Vos, B., 2000. Advies inzake bebossing op voorheen verontreinigde stuifzandgronden in het gebied Heibloem te Olen (Perceel Rendelaer). Advies. IBW Bb A 2000.001. Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer. IBW, pp. 21.

- De Vos, B., 2001. BOBO: Kies een Boomsoort in functie van de Bodemgeschiktheid. *Sylva Belgica* 108/2, 14–16.
- De Vos, B., 2009. Uncertainties of forest soil carbon stock assessments in Flanders, Doctoral dissertation no. 865 Faculty of Bioscience Engineering, K.U.Leuven, Leuven, Belgium.
- Delmas, C., Delzon, S. and Lortie, C. J. 2011. A meta-analysis of the ecological significance of density in tree invasions. *Community Ecology*. 12(2): 171–178.
doi:10.1556/ComEc.12.2011.2.4
- Dondeyne, S., L. Vanierschot, R. Langohr, E. Van Ranst, en J. Deckers. 2015. – De grote bodemgroepen van Vlaanderen: Kenmerken van de "Reference Soil Groups" volgens het internationale classificatiesysteem World Reference Base. KU Leuven & Universiteit Gent in opdracht van Vlaamse overheid, Departement Leefmilieu, Natuur en Energie, Afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen.
- Dossche T. 1998. Ecologische effecten van bladstrooisel van loofboomsoorten op de ontwikkeling van recent beboste landbouwgronden (Mortagnebos – Zwevegem). MSc thesis, Ghent University.
- Hommel, P., De Waal, R., Muys, B., den Ouden, J., Spek, T., 2007. Terug naar het Lindewoud. KNNV.
- Jabiol, B., Höltermann, A., Gégout, J.-C., Ponge, J.F., Brethes, A., 2000. Typologie des formes d'humus peu actives: Validation par des critères macro- et micromorphologiques, biologiques et chimiques. *Etude et Gestion des sols* 7(2), 133-154.
- Maddelein, D., Muys, B. en Van Boghout, E., 1991. De Kempen: arme gronden rijke bossen. Studiedag 8 mei 1991. Genk. Groene Band Nr 83-84. 77p.
- Thomaes A., De Keersmaeker, L., Quataert, P. & Vandekerkhove, K., 2006. Effecten van de boomsoort en de bebossingsduur op de floristische biodiversiteit bij recente bebossingen op rijke landbouwgronden. Deel I: Boomsoorteneffect op de vesting en ontwikkeling van oud-bosplanten. INBO.R.2006.46.
- Thomaes, A., De Keersmaeker, L., Oosterlynck, P., Paelinckx, D., & Vandekerkhove, K. (2012). Advies betreffende de bijmenging van exoten in de Natura2000 habitattypes 9120 en 91F0. INBO.A.2701.
- Van den Burg, J. 1988, Foliar analysis for determination of tree nutrient status – a compilation of literature data, De Dorschkamp, report 414, Wageningen, p. 615.
- Vander Mijnsbrugge, K., De Keersmaeker, L., Vandekerkhove, K., Vanden Broeck, A. (2020). Advies over te gebruiken bosbouwkundig teeltmateriaal bij bosaanleg. INBO.A.3898
- Vanhaeren, R. 1991. De Kempen arme gronden, rijke bossen. Dienst Waters en Bossen, AMINAL, Brussel, Bosinfo. Nr. 2 (1991): 1-32
- Verstraeten, A. 2018. Evolution of soil solution chemistry in temperate forests under decreasing atmospheric deposition in Flanders. PhD thesis, Ghent University. Faculty of Bioscience Engineering.
-