

Klimaatslim bosbeheer: van wetenschappelijke achtergrond naar aandachtspunten voor de praktijk

Adviesnummer:	<u>INBO.A.4000</u>
Auteur(s):	Kris Vandekerkhove, Arne Verstraeten, Geert Sioen, Nathalie Cools, Luc De Keersmaecker, Bruno De Vos, Suzanna Lettens, Johan Neiryndck, Marijke Steenackers, Arno Thomaes, An Vanden Broeck, Kristine Vander Mijnsbrugge
Reviewer(s)	Bart Muys (KULeuven), Kris Verheyen (UGent), Matteo Campioli (UAntwerpen), Sandra Van Waeyenberge (INBO) - Onderzoekersplatform bosonderzoek
Contact:	Kris Vandekerkhove (kris.vandekerkhove@inbo.be)
Kenmerk aanvraag:	Advies op eigen initiatief
Geadresseerden:	Gebruikersplatform bosonderzoek t.a.v. Danny Maddelein (voorzitter) Danny.maddelein@vlaanderen.be

Dr. Maurice Hoffmann
Administrateur-generaal wnd.

Aanleiding

De klimaatverandering heeft een grote invloed op de gezondheidstoestand van onze bossen. Tegelijk wordt ook sterk naar bossen gekeken als deel van de oplossing, met name via koolstofopslag in het hout en de bosbodem. Bosbeheerders hebben heel wat vragen en onzekerheden over de toekomst van het bos en de beheerkeuzes die ze daar best bij maken.

Dat bleek ook bij de prioritering van onderzoeksvragen en -thema's die het Gebruikersplatform bosonderzoek opmaakte op basis van de Kennisagenda bosonderzoek (Quataert *et al.*, 2018).

In die context was er nood om alvast de bestaande wetenschappelijke kennis rond de relatie tussen bosbeheer en klimaatverandering te bundelen in een vlot leesbaar en voor de bosbeheerder goed toegankelijk document.

Via dit advies neemt het INBO daartoe het initiatief. De teksten zullen ook worden opgenomen binnen het kennisplatform www.ecopedia.be.

Omwille van de leesbaarheid hebben we de referenties niet opgenomen in de doorlopende tekst, hoewel die er uiteraard wel zijn. Voor wie meer wil weten kan steeds terecht in de uitgebreide referentielijst achteraan dit advies.

Vraag

In deze tekst proberen we een antwoord te geven op de meest gestelde vragen in relatie tot bosbeheer en klimaatverandering:

- a. Welke beheervormen zijn het meest geschikt om een veerkrachtig bosesysteem te behouden? En hoe kan ik mijn bos zo beheren dat het zijn bufferende en verkoelende werking optimaal kan vervullen?
- b. Welke boomsoorten, herkomsten en mengingen moet ik gebruiken?
- c. Welk beheer is het best om de koolstofopslag in bossen en daarbuiten te optimaliseren?

Toelichting

1 Inleiding

De klimaatscenario's voor onze regio voorspellen belangrijke veranderingen in ons klimaat, die een grote impact kunnen hebben op het bos. We worden nu al geconfronteerd met een stijging van de gemiddelde jaartemperatuur en met extreme weerfenomenen. Dat zal enkel toenemen. Wetenschappers verwachten een toename van de gemiddelde temperatuur met 1-3°C en langere groeiseizoenen. Dat zou in theorie een gunstig effect kunnen hebben op de groei van onze bossen. Ook de stijging van de CO₂-concentratie kan de groei bevorderen, vooral in jonge bossen die in volle aangroei zijn.

Klimaatverandering betekent niet alleen dat de gemiddelde temperatuur stijgt. Het klimaat wordt ook 'wispelturiger': er is een grotere kans op extreme weerfenomenen zoals droogte, hitte, stormen en hevige neerslag, en uitzonderlijk warme en koude of natte en droge periodes wisselen elkaar abrupt af. Voor bomen betekent dit dat het risico op sterfte stijgt, de groeikracht vermindert... Zo hebben we nu al veel meer te maken met late vorst in het voorjaar, vaak na een warmere periode, waardoor de jonge scheuten vaker bevriezen. Al deze factoren, samen met het vaker voorkomen van zachte winters, kunnen ook onrechtstreeks leiden tot frequentere uitbraken

van ziektes en plagen. Die zullen de reeds verzwakte en geteisterde bomen nog verder belasten. Zomerdroogtes vergroten ook de kans op bosbrand, zeker in naaldhoutbossen.

Sommige plagen kunnen een heel grote impact hebben, zoals de aantastingen van fijnspar door letterzetter. Maar ook andere soorten zoals blauwe dennenprachtkever, eikenprocessierups en wintervlinder nemen toe, onder andere door de warme zomers en milde winters van de voorbije tien jaar. Ook nieuwe ziektes zoals roetschorsschimmel bij esdoorn, rodebandjesziekte bij dennen of essentaksterfte bij gewone es, die op het eerste zicht geen verband houden met het klimaat, kunnen beïnvloed worden door de klimaatverandering.

We verwachten dat plagen en ziektes frequenter en intenser zullen voorkomen, al is er veel onzekerheid over de gevolgen ervan, omdat de effecten van klimaatverandering op de interacties tussen gastheer en ziekteverwekker heel complex zijn. Bepaalde ziektes kunnen bijvoorbeeld minder impact hebben bij warmer en droger weer, maar zich meer laten voelen bij de combinatie van warmer en natter weer. Voor andere ziektes, zoals de *Armillaria* wortelziekte, is het net omgekeerd.

Bossen hebben niet alleen een probleem met klimaatverandering, ze zijn ook deel van de oplossing. Bossen kunnen immers als geen ander ecosysteem koolstof vastleggen en zo het broeikasgas CO₂ in de atmosfeer verminderen. Dat gebeurt 'in situ', in biomassa boven en onder de grond, maar ook via duurzaam gebruik van hout. Daarbij speelt niet alleen de rechtstreekse 'ex situ' opslag van koolstof een rol, bijvoorbeeld in boeken, meubels en balken, maar ook het substitutie-effect. Door hout te gebruiken als hernieuwbare brandstof en als alternatieve grondstof voor staal, beton en kunststof, die bij hun productie veel fossiele brandstof verbruiken, vermindert de uitstoot van fossiele koolstof onder de vorm van CO₂. Bossen verminderen ook het effect van de klimaatverandering. Door water op te vangen, te verbruiken en te verdampen, hebben bomen en bossen een belangrijk verkoelend effect op het regionale klimaat, en in het bos zelf kan er een milderend microklimaat zijn.

Bossen kunnen dus een belangrijke bijdrage leveren aan het beperken van de klimaatverandering door CO₂ vast te leggen in hun levende biomassa en houtproducten, maar ook door opbouw van organisch materiaal (humus) in de bosbodem. Tegelijkertijd is het belangrijk om onze bossen veerkrachtiger te maken ten aanzien van de gevolgen van klimaatverandering.

Met **klimaatslim bosbeheer** zetten we in op twee pijlers:

- (1) **Adaptatie**: via structuur, boomsoortenkeuze enz. de bossen veerkrachtiger maken tegen klimaatverandering.
- (2) **Mitigatie**: het bos beheren met aandacht voor de opslag van koolstof in het bos, in de bosproducten en in de bosbodem.

2 Klimaatslimme beheervormen

Door de grotere kans op calamiteiten is het vanuit economisch oogpunt een logische keuze om op zo kort mogelijke termijn tot de doeldiameter te komen. Hoe korter de bedrijfstijd, hoe minder droogte- en stormincidenten een boom moet doormaken vooraleer hij economisch kaprijp is. Beheersystemen waarbij bomen al van jonge leeftijd worden geselecteerd en systematisch worden vrijgesteld, zijn daarbij aan te bevelen. We denken hierbij aan boomgericht bosbeheer zoals de toekomstboommethode en de QD-methode.

Via een meer gesloten kronendak en meer biomassa kan je klimaatextremen beter bufferen. In gesloten bossen zorgt het bosmicroklimaat ervoor dat de luchtvochtigheid en de bodemvochtgehaltes hoog blijven, en dat temperatuurextremen in de lucht en in de bodem worden gebufferd. Hoe groter de kroonsluiting en de biomassa, hoe groter dit effect. Door de klimaatverandering wordt het belang van het microklimaat in het bos nu nog veel groter dan voorheen. Zo kan het microklimaat ook het risico op vorstschade (late vorst in het voorjaar) sterk verminderen. Bovendien zijn veel soorten van oude bossen, zoals bosplanten, mossen, zwammen, slakken en pissebedden, niet bestand tegen extreme temperaturen of droogte. Zij hebben een goed ontwikkeld microklimaat nodig om te overleven en zijn zelf vaak essentieel om het bosecosysteem goed te laten functioneren.

Bepaalde boomsoorten, vooral schaduw verdragende soorten zoals beuk, hebben ook een goed ontwikkeld microklimaat nodig. Beuk is gevoelig voor droogte, maar heeft ook een grote veerkracht. In droge jaren kan de groei sterk terugvallen, maar in de daaropvolgende jaren kan de soort zich helemaal herpakken als de omstandigheden weer gunstig zijn. Als de droogte te extreem is, kan er hoge sterfte of vitaliteitsverlies optreden. Daarbij maakt het een groot verschil of de bomen in een gesloten bosbestand voorkomen, met een goed ontwikkeld microklimaat, of in halfopen of open condities. Beuken in gesloten bosverband kunnen veel beter weerstaan aan droogte, zeker op lemige bodems. Dit geldt ook voor andere soorten zoals haagbeuk en linde. We noemen ze 'climaxboomsoorten' en 'climaxbossen' omdat ze van nature het eindbeeld van het bos zullen domineren. Voor bossen met deze soorten is het dus belangrijk om het **bos zo gesloten mogelijk te houden**, sterke dunningen te vermijden en de eindkap heel kleinschalig uit te voeren, d.w.z. individuele bomen of kleine groepen te kappen. Dit zijn ook de bosbestanden waar de soorten die aan het microklimaat van het bos gebonden zijn, zullen overleven. Ook in aansluitende bosbestanden moet kleinschalig gewerkt worden om het microklimaat in stand te houden: een grote kapvlakte of open plek kan een negatief effect hebben op het microklimaat tot 100 m diep in de omliggende bestanden. Je kan deze 'randzone' beperken door kapvlaktes en open plekken centraal in het bos te vermijden en aan de buitengrenzen van het bos geleidelijk opgaande, goed gesloten bosranden te maken. Dat kan door deze buitenranden in een hakhoutbeheer te zetten of brede struikgordels te voorzien.

Voor alle bossen bevelen we aan om boomsoorten te mengen, in groep of individueel, en om te zorgen voor zoveel mogelijk structuurdiversiteit. Gemengde, structuurrijke bossen van standplaatsgeschikte boomsoorten, aangepast aan het klimaat (zie verder), hebben een grotere veerkracht dan gelijkjarige bossen of éénsoortige bestanden. Wanneer er dan toch ziektes uitbreken, zorgt een goede menging ook voor risicospreiding. Dat geldt altijd en wordt versterkt door de bijkomende risico's door klimaatverandering. Als één boomsoort het plots heel moeilijk krijgt, zijn er andere bomen aanwezig om deze calamiteit op te vangen. Bovendien zorgen de bijgemengde soorten ook voor een belangrijke koolstofopslag, boven en onder de grond.

Boomgerichte beheersystemen zoals plenterkap en uitkapbos, toekomstboommethode en QD-methode zijn heel geschikt om structuur- en soortenrijke bosbestanden te realiseren of in stand te houden.

Bij het mengen van boomsoorten is het wel belangrijk om rekening te houden met bestuivingspatronen van bomen. Bij bepaalde soorten verloopt de bestuiving moeizamer in gemengde bossen wanneer de bomen te ver uiteen staan, waardoor minder verschillende bomen

mekaar bevruchten. Dat kan de genetische diversiteit en dus het aanpassingsvermogen van de soorten beïnvloeden.

Ook 'niets doen' kan in veel bossen een optie zijn om een veerkrachtiger bos te krijgen: dan reken je op natuurlijke selectie waarbij die bomen en boomsoorten zullen overleven die beter bestand zijn tegen extremen. Deze keuze genereert uiteraard geen opbrengsten en de evolutie kan soms heel traag gaan, en is ook niet altijd een garantie voor succes. Als de uitgangssituatie sterk genetisch verarmd is, zijn de mogelijkheden voor natuurlijke selectie immers beperkt.

Aandachtspunten voor het beheer

Elk bos en bosperceel is anders, met een verschillende groeiplaats, boomsoorten, doelstellingen enz. Standaardoplossingen en recepten voor het beheer zijn er dus niet. Algemeen kunnen we wel deze aandachtspunten meegeven:

- Zorg voor een beheer in functie van behoud en ontwikkeling van **structuurrijke en gemengde bosbestanden**. Deze zijn veerkrachtiger en er is voldoende risicospreiding.
- Bescherm het **microklimaat** in het bos: hou **bossen zo goed mogelijk gesloten**, creëer **geen grote open plekken en kapvlaktes** midden in grotere boscomplexen. Vermijd scherpe, open bosranden aan de buitengrenzen van het bos.
- Boomgerichte beheersystemen, zoals uitkap/plenterbos, toekomstbomen en QD, en kleinschalige groepenkappen zijn het meest geschikt om deze doelstellingen te combineren. Ook 'niets doen' is in veel bossen een optie om een veerkrachtiger bos te verkrijgen.

3 Welke boomsoorten of herkomsten?

In het kader van klimaatslim bosbeheer is een belangrijk punt van discussie welke boomsoorten of herkomsten aan te bevelen zijn. Biedt het huidige soortenpalet en de genetische diversiteit voldoende 'plasticiteit' om de klimaatverandering op te vangen? Of is het nodig om nieuwe soorten en herkomsten te introduceren omdat ze misschien beter aangepast zijn aan de verwachte toekomstige klimaatcondities? Hierover bestaat ook onder wetenschappers heel wat discussie.

Sommigen pleiten voor een proactieve aanpak, waarbij zuidelijke en centraal-Europese soorten en herkomsten worden geïntroduceerd. Deze kunnen immers niet snel genoeg spontaan migreren om de klimaatverandering bij te benen. Dat geldt vooral voor gebieden met weinig uitgesproken reliëf zoals Vlaanderen, omdat soorten hier niet via kleine ruimtelijke bewegingen, zoals hoger of lager op de helling of expositie, een klimaatverandering kunnen opvangen. De migratiesnelheid voor vlakke gebieden zou ruim 7 km/jaar moeten bedragen om verschuivingen door klimaatverandering te volgen. Dit ligt ver boven de gemiddelde natuurlijke verbredingssnelheid van veel boomsoorten. In die context vormt klimaatverandering een grotere bedreiging in laaggelegen vlakke regio's. Daarom wordt gepleit voor het inbrengen van soorten en herkomsten uit gebieden die volgens bepaalde modellen nu het klimaat kennen dat er bij ons zou kunnen komen in 2050 of 2100.

Andere onderzoekers zijn eerder terughoudend, omdat deze aanpak ook veel onzekerheden en risico's inhoudt. Er bestaat om te beginnen geen definitief uitsluitend over het klimaat dat we lokaal kunnen verwachten. Een wereldwijde temperatuurstijging kan zich lokaal erg verschillend manifesteren. De modellen voorspellen nu een temperatuurstijging, maar veranderingen in de golfstroom kunnen de voorspellingen voor NW-Europa volledig wijzigen. Zelfs bij een gemiddelde stijging van de jaartemperatuur zullen 'grillige' weerpatronen zoals extreem droge of natte periodes, plotse afwisseling van warme winterdagen en late vorst in het voorjaar, misschien nog meer bepalend zijn voor de geschiktheid van bepaalde herkomsten. Zo is nu al vastgesteld dat late vorst in het voorjaar de laatste decennia veel vaker voorkomt dan vroeger. Zuidelijke en continentale herkomsten, die een meer stabiel klimaat gewoon zijn, kunnen hierdoor meer in de problemen komen dan lokale herkomsten. Er zijn immers aanwijzingen dat sommige van de

centraal-Europese en zuidelijke herkomsten gaan 'overreageren' op weerprikkels en daardoor gevoeliger zijn voor de 'grillen' van ons klimaat dan lokale herkomsten. Bovendien zal de wisselingen in fotoperiode, dit is de verandering van dag-nacht lengte doorheen het jaar, niet veranderen met de klimaatverandering. Bomen die een andere fotoperiode gewoon zijn (bv. met zuidelijke oorsprong), kunnen hierdoor ontregeld geraken.

Bij beuk werd via herkomstproeven vastgesteld dat maritieme herkomsten beter groeien en overleven wanneer ze in een droger en warmer klimaat worden gebracht, terwijl continentale herkomsten juist meer in de problemen komen.

Niet alleen voor de bomen zelf kan dit een probleem zijn. Aan introducties van uitheemse soorten en niet-lokale herkomsten zijn ook ecologische risico's verbonden die zich niet altijd onmiddellijk manifesteren. Allereerst is er het risico op invasieve verspreiding van de soort zelf. Het invasieve karakter kan sterk standplaatsafhankelijk zijn, maar ook klimaatafhankelijk. Een soort die momenteel weinig problemen vormt, kan onder een gewijzigd klimaat wel invasief worden. Daarnaast kunnen er bij de introductie van nieuwe soorten ook nieuwe aantastingen binnen worden gebracht. Die vormen misschien geen probleem voor de oorspronkelijke gastheer, maar wel voor het ecosysteem waarin ze worden geïntroduceerd. Zo zijn er in het Verenigd Koninkrijk problemen met de eikknoppergal (*Andricus quercus-calicis*) die de eikels van zomereiken aantast en die zich heeft kunnen verspreiden via de geïntroduceerde moseik (*Quercus cerris*). Voor vreemde herkomsten van inheemse soorten kunnen verschuivingen in het uitlopen van bomen dan weer aanleiding geven tot ecologische 'mismatch': de bomen bloeien voordat de insecten die zorgen voor bestuiving of de nectar nodig hebben, aanwezig zijn of de piek van de bladgroei en bepaalde rupsen die hiervan eten komt te vroeg voor de broedvogels die van deze rupsen afhankelijk zijn, zoals bij bonte vliegenvanger is aangetoond.

Waar de onderzoekers het wel over eens zijn, is dat een **grote genetische diversiteit** (naast soortendiversiteit: zie eerder) de essentie vormt voor een **goede weerbaarheid** van bossen bij een veranderend klimaat. Populaties die al lange tijd lokaal inheems zijn, hebben vaak al een brede genetische basis en zijn daardoor vrij robuust. Ze hebben de afgelopen millennia al (kleinere) klimaatschommelingen doorstaan, zoals de kleine ijstijd (vooral 16de-17de eeuw) en warmere periodes.

Wanneer gewerkt wordt met **erkende en aanbevolen herkomsten** is er ook een garantie dat de **genetische basis voor deze herkomsten voldoende breed** is, waardoor ze genoeg plasticiteit kunnen tonen en minder kans hebben om te overreageren. Voor soorten of herkomsten waarvan we vermoeden dat de genetische basis eerder beperkt is, kan je bij het aanplanten best verschillende aanbevolen herkomsten mengen¹. Ook bij natuurlijke verjonging waarbij er een vermoeden is dat de genetische basis van de ouderbomen beperkt is, kan je de genetische basis verbreden door actief bij te planten met aanbevolen plantmateriaal. Voor bepaalde soorten is het aanbod aan erkende herkomsten heel beperkt. Hier zal het INBO in de nabije toekomst nagaan of nieuwe erkenningen mogelijk zijn, of ook meer herkomsten uit aangrenzende regio's kunnen worden aanbevolen.

Voor soorten en herkomsten uit andere regio's zijn er, zoals hierboven aangehaald, heel wat onzekerheden. Een voorzichtige strategie in die context is dan ook aangewezen. Er moet eerst meer duidelijkheid zijn over hoe deze herkomsten en soorten reageren op de huidige en te verwachten klimaatomstandigheden, en of er geen onvoorziene risico's aan verbonden zijn. Pas daarna kan je deze soorten en herkomsten ruim gaan toepassen. Gebruik bij aanplantingen enkel deze soorten en herkomsten die momenteel worden aanbevolen. Beperk de inbreng van nieuwe soorten en andere herkomsten totdat experimentele, wetenschappelijk opgevolgde aanplantingen hierover meer duidelijkheid verschaffen.

¹ bij cultuurpopulieren: werken met multiklonale aanplantingen.

Uiteraard is het aanbevolen om vooral in te zetten op boomsoorten die robuust zijn en weinig gevoelig voor klimaatextremen en -veranderingen. Maar het is niet evident om de klimaatgevoeligheid van boomsoorten eenduidig te beoordelen. Het voorbeeld van beuk (zie hoger) toont aan dat de gevoeligheid sterk kan afhangen van de context. Daardoor kunnen publicaties mekaar sterk tegenspreken voor soorten waar de context belangrijk is. De tabel² in bijlage 1 geeft een beoordeling mee voor droogte- en overstromingsgevoeligheid voor een aantal in Vlaanderen veel gebruikte soorten (bron: Niinemets & Valladares, 2006). Je kan deze cijfers best met de nodige omzichtigheid hanteren: een gevoeligheid kan je moeilijk in een cijfer vatten. De spreiding op de waarden zegt daarbij soms meer dan het gemiddelde. Belangrijke factoren zoals 'windgevoeligheid' en 'gevoeligheid voor plagen' zijn niet opgenomen in de lijst.

Aandachtspunten voor het beheer

Samengevat kunnen we volgende aandachtspunten meegeven:

- Kies voor **gemengde bossen**, met standplaatsgeschikte soorten die matig tot weinig gevoelig zijn voor extremen (bij ons vooral droogte, late vorst...).
- Een brede genetische basis vormt de essentie en de beste garantie voor klimaatrobuustheid. Bij aanplanting bieden **erkende en aanbevolen herkomsten** hiervoor de grootste zekerheid. In de nabije toekomst wordt ingezet op een groter aanbod. De lijst van aanbevolen herkomsten is raadpleegbaar via volgende link: <https://www.inbo.be/nl/bosbouwkundig-teeltmateriaal>.
- Er bestaat twijfel en discussie over het introduceren van bijkomende **uitheemse soorten of andere herkomsten**. Een voorzichtige strategie in die context is: **beperk** deze soorten en herkomsten voorlopig **tot experimentele, wetenschappelijk goed opgevolgde aanplantingen**. Ga voor een beoordeling ook observeren in arboreta en in oudere bosbestanden met gekende niet-inheemse herkomsten en soorten. Zo kan je niet alleen de effecten op de jeugdgroei, maar ook de performantie bij volgroeide bomen beoordelen.

² Deze lijst bevat ook een aantal uitheemse en zelfs invasieve soorten, en is dus niet te beschouwen als een lijst van 'aanbevolen' soorten. Deze lijst geeft enkel aan in welke mate een soort gevoelig is voor overschaduwning, droogte en overstroming. Ze geeft geen aanwijzingen naar standplaatsgeschiktheid. Hiervoor dienen andere bronnen (Uyttenbroeck et al., 2014) en tools zoals de online-tool voor bodemgeschiktheid voor bosbomen (<https://bobo.inbo.be/map>) worden gebruikt.

4 Bossen en koolstofopslag

Bossen slaan veel koolstof op, zowel boven als onder de grond. De bovengrondse opslag is duidelijk zichtbaar: je ziet de aanwezige biomassa in levende en dode bomen en in de strooisellaag en je kan die schatten of meten. Wat minder gekend is, is dat bossen ook ondergronds veel koolstof opslaan onder de vorm van dood organisch materiaal of humus. De hoeveelheid koolstof onder de grond is heel variabel maar kan gemakkelijk even groot of groter zijn dan boven de grond. In moerasbossen kan dat zelfs 3 à 4 keer zo groot zijn. In ons klimaat zit gemiddeld 60% van de totale koolstof van een bos onder de grond. Die hoeveelheid wordt positief beïnvloed door de bodemvruchtbaarheid, de bodemvochtigheid, de bosleeftijd en de bodembiodiversiteit: hoe hoger al deze factoren, hoe meer koolstof er opgeslagen zit onder de grond. De betekenis van ecologische continuïteit van bos voor de ondergrondse koolstofopslag is niet te onderschatten: op zure bodem in het oosten van Duitsland blijken bossen die ouder zijn dan 230 jaar, veel meer koolstof op te slaan dan 100-200 jaar oude bossen, vooral in de diepere minerale bodem. Oude en natte bossen op een venige bodem zijn dus 'koolstof-hotspots'.

De stabiliteit van deze ondergrondse koolstof is variabel. Een deel is vrij labiel, het is onderhevig aan fragmentatie, oxidatie en mineralisatie. Een ander deel is stabiele humus die een heel duurzame koolstofvoorraad vormt. Enkel bij een zware verstoring, zoals verdroging, ontbossing of bodemverstoring, zal de stabiele koolstofvoorraad afgebroken worden en zullen er grote hoeveelheden CO₂ vrijkomen.

Om deze ecosysteemdienst te optimaliseren, is het dus belangrijk om natte bossen niet te draineren of integendeel de natuurlijke hydrologie te herstellen, en ontbossingen zoveel mogelijk te vermijden, zeker van locaties met een lange continuïteit als bos. De koolstofvoorraad wordt immers heel geleidelijk opgebouwd in de bodem. Je kan een ontbossing dus niet in een handomdraai compenseren.

Via het beheer van bossen kunnen we een belangrijke invloed uitoefenen op de koolstofbalans en de opslagcapaciteit van het bos.

(Geen) bomen kappen en toch koolstof opslaan?

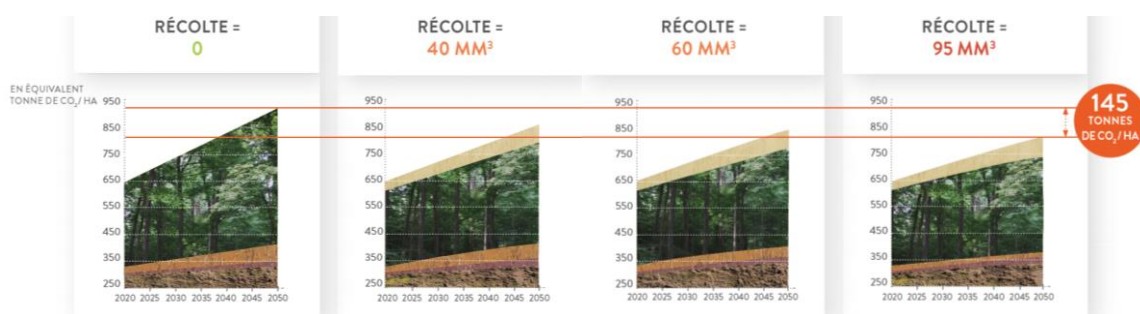
Over koolstofopslag en bosbeheer bestaan veel misverstanden. Zo veronderstellen sommigen dat onbeheerde bossen geen bijdrage leveren aan de koolstofbalans, omdat deze bossen in een dynamisch evenwicht verkeren, waarbij aangroei en afbraak met elkaar in evenwicht zijn. Anderzijds is het soms moeilijk uit te leggen dat kappen van bomen ook kan bijdragen aan de koolstofbalans.

In Vlaanderen, waar **onbeheerde bossen** altijd vertrekken van voormalig beheerde bossen, zal 'niets doen' altijd aanleiding geven tot netto-koolstofopslag. Deze bossen starten immers met een bovengrondse biomassa die vaak nauwelijks de helft bedraagt van het natuurlijk 'potentieel'. De bovengrondse biomassa zal nog vele decennia bijgroeien vooraleer een evenwicht wordt bereikt. Zo bedraagt de netto toename van de bovengrondse biomassa in de Vlaamse bosreservaten gemiddeld ca. 7 m³/ha per jaar. Ondertussen neemt ook de ondergrondse biomassa verder toe. Dit ondergrondse proces blijft verder gaan, ook als uiteindelijk bovengronds een evenwicht wordt bereikt. Vandaar dat primaire oerbossen niet alleen 'hotspots' zijn voor koolstofopslag, maar ook nog altijd netto opslag blijven realiseren in de bodem.

Wanneer in bossen **gekapt** wordt, zal de bovengrondse voorraad verminderen en wordt een deel van de koolstof buiten het bos 'gestockeerd' als hernieuwbare grondstof hout. Bij vergelijking van de strategieën 'niets doen' versus oogst, is de balans, naargelang de bron en de intensiteit van de kap, eerder in het voordeel van de ene of de andere strategie. Hoe dan ook, wanneer niet te drastisch wordt gekapt, zal de eindbalans in beide gevallen positief zijn. In het ene geval wordt meer 'in situ' (in het bos) koolstof bewaard, in het andere geval wordt een deel 'in situ' ingeruild voor 'ex situ' opslag (als houtproduct buiten het bos) en speelt ook 'substitutie' een rol.

Een belangrijk deel van het geogste hout komt echter niet terecht in **langlevende toepassingen**: het langlevende aandeel is zelden meer dan één derde. De bijdrage van houtproducten in de koolstofbalans is in de praktijk daardoor relatief beperkt en dan kan de balans ten opzichte van 'niets doen' negatief worden. Dat wordt geïllustreerd in figuur 1. De meest linkse figuur geeft aan hoe de koolstofvoorraad in de Franse bossen zou evolueren mocht men nergens meer kappen. De andere scenario's geven het resultaat bij verschillende intensiteit van kappen. Daarbij komt er een extra koolstof-opslagfactor bij, in duurzame houttoepassingen, maar wordt er minder koolstof opgeslagen in het bos zelf. Dat verschil zit in de bovengrondse voorraad, omdat er hout wordt afgevoerd, maar ook in de bodem.

Het verhogen van het aandeel hout dat in langlevende toepassingen wordt gebruikt (volgens het principe van de zogenaamde 'cascadering') kan dus ook een belangrijke maatregel zijn om de koolstofopslag te verhogen. Dat betekent meer inzetten op kwaliteitshout voor duurzame toepassingen (constructie, interieur...), bij voorkeur lokaal verwerkt, en minder in biomassa voor verbranding (en brandhout) of kortlevende toepassingen (papier, verpakkingsmateriaal).



Figuur 1: Totale hoeveelheid koolstof die gemiddeld per ha wordt opgeslagen in (van onder naar boven) de bodem, strooisel, dood hout, levende biomassa en houtproducten bij verschillende scenario's van houtoogst in Frankrijk: geen oogst, oogst van ca. 1/3 van de bijgroei, oogst van 2/3 van de bijgroei en oogst van 100% van de bijgroei (Bron: Du Bus de Warnaffe & Angerand, 2020)

De **effecten van beheer op de ondergrondse koolstof** worden bij modelleringen van koolstofopslag vaak over het hoofd gezien. Het beheer kan hier nochtans een grote invloed op hebben. Daar zal de optie 'niets doen' steeds de beste resultaten opleveren. Grote openingen in het kronendak en bodemverstoring, zoals klepelmaaien van een kapvlakte, zorgen immers voor een sterke mineralisatie van humus en kunnen een grote impact hebben op de totale koolstofbalans. Het verschil in netto opslag in de bodem tussen beheerde en onbeheerde bossen kan daarbij omvangrijk zijn. Figuur 2 toont de resultaten voor een berekeningsmodel dat werd toegepast voor het Meerdaalwoud. Daaruit blijkt dat in het beheerde bos de bovengrondse biomassa vrij constant blijft: er wordt evenveel geogst als wat er bijgroeit. In het bosreservaat ('niets doen' beheer) neemt de bovengrondse biomassa verder toe. Ook ondergronds worden de verschillen groter: in het beheerde bos komt er na 150 jaar zo'n 50 ton CO₂-equivalent bij, in het onbeheerde bos is dat ruim 150 ton.

Jaar	Biomassa t CO ₂ ha ⁻¹	Opbrengst t CO ₂ ha ⁻¹ Jaar ⁻¹	m ³ ha ⁻¹ Jaar ⁻¹	C bodem t CO ₂ ha ⁻¹	Jaar	Biomassa t CO ₂ ha ⁻¹	C bodem t CO ₂ ha ⁻¹
nu	441.1	10.6	8.9	645.1	nu	609.3	817.4
na 10	428.8	10.5	8.8	655.6	na 10	468.3	822.5
na 20	420.2	10.4	8.7	663.2	na 20	687.9	824.7
na 150	450.5	9.5	7.4	707.5	na 150	723.5	969.1

Legende: Staande biomassa en opbrengst van de beheerde oppervlakte in het Meerdaalwoud, simulaties voor de komende 150 jaar uitgevoerd met SECRETS. Waarden nu, over 10, 20 en 150 worden weergegeven. De opbrengst is steeds de gemiddelde opbrengst over de aangegeven periode.

Legende: Gesimuleerde staande biomassa en C in de bodem van de reservaten in het Meerdaalwoud voor de komende 150 jaar

Figuur2: Modelling van te verwachten hoeveelheid koolstof, zowel bovengronds (biomassa) als ondergronds (C bodem) voor de multifunctioneel beheerde zones in het bos (links) en de onbeheerde bosreservaten (rechts). 'Opbrengst' is wat wordt geoogst, uitgedrukt in ton CO₂ en in m³/ha. (Bron: Muys et al., 2002).

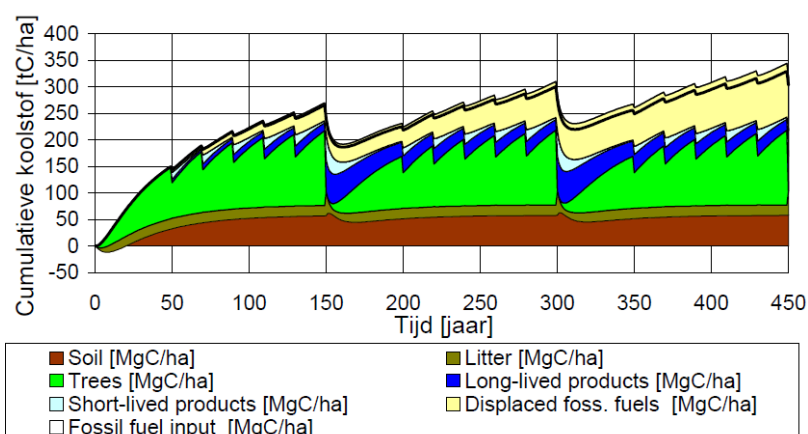
Ook hier kan je echter via keuzes in het bosbeheer sterk sturend optreden. Als je kiest voor een **beheersysteem zonder grootschalige kappingen en zo weinig mogelijk bodemverstoring** (niet klepelen, vaste uitsleeppistes) kan je de mineralisatie van humus sterk verminderen.

Door boomsoorten te bevorderen met een **goed afbrekend bladstrooisel** zorg je er bovendien voor dat er zich een diepe, goed doormengde humuslaag ontwikkelt. Deze bevat niet alleen veel meer koolstof dan een dunne, slecht verterende humuslaag. Een hoger koolstofgehalte in de bodem zorgt ervoor dat de bodem meer vocht en voedingsstoffen kan vasthouden. Vooral op zandgronden kan dit effect zeer belangrijk zijn. Bij boomsoorten met goed afbrekend strooisel wordt al snel gedacht aan soorten als linde, populier of haagbeuk. Deze soorten stellen echter hoge eisen aan hun standplaats, waardoor ze op arme zandgronden slechts beperkt toepasbaar zijn, tenzij men actief en regelmatig mineralen toevoegt. Op zandgronden kunnen echter ook 'quick recyclers' die minder veeleisend zijn naar mineralen, de bodem sterk verbeteren. Dan denken we aan trilpopulier, wilgen, lijsterbes, vuilboom... Een goed afbrekend blad betekent echter ook vaak een 'smakelijk' blad. Om deze soorten een kans te bieden zal wildbescherming en een voldoende lage (ree)wildstand noodzakelijk zijn.

Wanneer we in de modellen ook het '**substitutie**'-effect in rekening brengen, krijgen we voor de beheerde bossen een meer genuanceerd beeld. Het substitutie-effect betekent dat we ook rekening houden met de koolstofuitstoot die we vermijden door hout te gebruiken als biobrandstof of als grondstof ter vervanging van grondstoffen die veel fossiele brandstof verbruiken bij hun productie, zoals staal, aluminium, beton, plastic enz. Deze mogelijkheden worden alsmaar groter nu er ook allerlei chemische stoffen -die klassiek uit petroleum worden gehaald- ook uit hout kunnen worden gewonnen (zogenaamde bioraffinage).

Hoe belangrijk het aspect 'substitutie' is in de koolstofbalans, wordt geïllustreerd in figuur 3. Hier wordt modelmatig ingeschat wat de eindbalans is van een vrij intensief bosbeheer op de koolstofvoorraad. Als we enkel naar de opslag 'in situ' (de biomassa in het bos) en 'ex situ' (de duurzame houttoepassingen) kijken, dan komt de koolstofbalans niet veel verder dan een evenwicht. Als we ook het substitutie-effect in rekening brengen, is er netto een positieve koolstofbalans.

De conclusie of houtoogst nu een positieve invloed heeft op de koolstofbalans is dus sterk afhankelijk van de elementen die je hierbij in rekening brengt. Dan nog zal de uiteindelijke balans, ook ten opzichte van niets doen, sterk afhankelijk zijn van het beheertype, de intensiteit van kapping, boomsoortenkeuze, voorgeschiedenis... Ook hier is het verhaal dus genuanceerd.



Figuur3: Hoeveelheid koolstof (uitgedrukt in ton koolstof per ha) die wordt opgeslagen in een multifunctioneel bosbeheer-scenario op basis van eik, vertrekkend van een kapvlakte in bestaand bos. In dit scenario wordt gewerkt met bedrijfstijden van 150 jaar en eindakppen waarbij alle bomen worden geoogst, en alle hout wordt afgevoerd en gebruikt in langlevende producten (meubelen, constructie = donkerblauw), in kortlevende producten (verpakking, papier = lichtblauw) en brandhout. Het aandeel van het substitutie-effect ('displaced fossil fuels': geel) omvat zowel het verbranden van hout ter vervanging van fossiele brandstoffen (zowel particulier als bio-energiecentrales), maar ook de netto bijdrage van het gebruik van hout ter vervanging van materialen waarvan de productie veel fossiele brandstoffen verbruikt. (Bron: Muys et al., 2002)

Aandachtspunten voor het beheer

Via de beheerkeuzes en beheermethodes kunnen we een grote invloed uitoefenen op de totale koolstofbalans van het bos. Hieronder geven we een aantal aanbevelingen:

- Kies voor beheersystemen waarbij de bovengrondse verliezen beperkt worden door **selectieve oogst**: uitkapbossen en kleinschalige beheertypes (groepenkap) hebben over de volledige bedrijfstijd bekeken een veel hogere gemiddelde bovengrondse biomassa dan kaalslagsystemen.
- Zorg voor **gemengde bossen**: zij zullen de beschikbare hulpbronnen beter benutten en kunnen voor een hogere aangroei en hoger biomassapotentieel zorgen. Menging van boomsoorten met **verschillende wortelsystemen** (oppervlakkig versus diepwortelend) spreiden de koolstofvoorraad in de bodem beter.
- Kies waar mogelijk voor (bijmenging van) **boomsoorten met een goed verterend blad**. Dit leidt tot meer bodemleven en zorgt ervoor dat organisch materiaal dieper in de bodem wordt ingewerkt en gestabiliseerd.
- Beperk de ondergrondse verliezen bij oogst en beheerwerken:
 - o **Vermijd grote openingen in het kronendak**: ze zorgen voor sterke opwarming van de bosbodem en mineralisatie van het humuspakket, dus koolstofverlies.
 - o **Vermijd bodembewerking**: zeker ontstronken, klepelmaaien of andere vormen van vlaksgewijze bodemverstoring of het afvoeren van strooiselpakketten zorgen voor grote koolstofverliezen.

Deze aanbevelingen zijn belangrijk voor alle bossen, maar des te meer voor **natte bossen en vooral ook oude bossen**. Zij hebben al eeuwenlang koolstof opgeslagen en daardoor hebben zij hoge koolstofvoorraden. Naast hun uitzonderlijke ecologische waarde, zijn deze bossen ook heel belangrijk als 'koolstof-hotspots' en ze moeten dus **zo goed mogelijk beschermd en behouden** worden.

Referenties en achtergrondinfo (voor wie meer wil weten)

Alonso et al. 2012. Carbon storage by habitat: Review of the evidence of the impacts of management decisions and condition of carbon stores and sources. Natural England Report NERR043

Boussemaere P. & Vicca S. 2020. IT'S THE END OF THE WORLD AS WE KNOW IT. Blog Global Change Ecology, Universiteit Antwerpen. <https://globalchangeecology.blog/2020/05/25/its-the-end-of-the-world-as-we-know-it/>

Boosten et al. 2020. Factsheets klimaatmaatregelen met bomen, bos en natuur. Praktische handreiking voor effectief klimaatslim bos- en natuurbeheer en toepassing van hout. Wageningen University & Research, Stichting Probos & Arboribus Silva.

Brang P. et al. 2014. Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry* 87:492-503.

Brunet-Navarro P. et al. 2018. Effect of cascade use on the carbon balance of the German and European wood sectors. *Journal of Cleaner Production* 170, 137-146.

Clerckx S. et al. 2013. Bosbeheer en klimaatverandering. Resultaten van de LANDCLIM-simulaties voor Zuidoost-Veluwe. Alterra-rapport 2438

De Frenne P. et al. 2013. Microclimate moderates plant responses to macroclimate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110: 18561-18565.

Demey A. et al. 2015. Klimaatadaptatie in natuur- en bosbeheer. Rapport UGent in opdracht van ANB.

Den Ouden et al. 2020. Kan uitstel van houtoogst bijdragen aan CO₂-mitigatie? Wageningen Environmental Research, rapport 2994.

Du Bus de Warnaffe G. & Angerand S. 2020. Gestion Forestière et Changement Climatique - Une nouvelle approche de la stratégie nationale d'atténuation. Rapport Final. ATF, Canopé & Fern, Life Programme EU.

Ellison D. et al. 2017. Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global Environ. Chang.*, 43, 51-61

Finkeldey R. & Ziehe M. 2004. Genetic implications of silvicultural regimes. *For Ecol Manage* 197: 231-244

Fady et al. 2016. Forests and global change: what can genetics contribute to the major forest management and policy challenges of the twenty-first century? *Reg Environ Change* 16: 927-939

Garcia-Quijano J.F. et al. 2005. An integrated decision support framework for the prediction and evaluation of efficiency, environmental impact and total social cost of domestic and international forestry projects for greenhouse gas mitigation: description and case studies. *Forest Ecology and Management* 207: 245-262.

Gobin, A., Campling, P., Janssen, L., Desmet, N., van Delden, H., Hurkens, J., Lavelle, P., Berman, S. (2011). Soil organic matter management across the EU - best practices, constraints and trade-offs, Final Report for the European Commission's DG Environment

Grüneberg et al. 2019. Carbon Stocks and Carbon Stock Changes in German Forest Soils. In: Wellbrock & Bolte (eds.), Status and Dynamics of Forests in Germany. *Ecological Studies* 237.

Hoegh-Guldberg O. et al. 2008. Assisted colonization and rapid climate change. *Science* 321:345-346.

Jandl et al. 2019. Forest adaptation to climate change—is non-management an option? *Annals of Forest Science* 76: 48

Jiang et al. 2020. The fate of carbon in a mature forest under carbon dioxide enrichment. *Nature* 580, 191-192. doi: 10.1038/d41586-020-00962-0

Kreiling et al. 2014. Local adaptations to frost in marginal and central populations of the dominant forest tree *Fagus sylvatica* L. as affected by temperature and extreme drought in common garden experiments. *Ecology and Evolution* 4, 594–605.

Konnert, M. et al. 2015. Use and transfer of forest reproductive material in Europe in the context of climate change. European Forest Genetic Resources Programme (EUFORGEN), Bioversity International, Rome, Italy.

Ma et al. 2018. Divergent trends in the risk of spring frost damage to trees in Europe with recent warming. *Global change biology* 25, 351-360.

Montwé et al. 2018. Cold adaptation recorded in tree rings highlights risks associated with climate change and assisted migration. *Nature Communications* 9.

Moraal L. & Jagers op Akkerhuis, G. 2011. Changing patterns in insect pests on trees in The Netherlands since 1946 in relation to human induced habitat changes and climate factors—An analysis of historical data. *Forest Ecology and Management* 261, 50-61.

Muys et al. 2002. Scenario's voor broeikasgasreductie door vastlegging van koolstof en energiesubsstitutie: ruimtebeslag, milieu-impact en kostenefficiëntie. Eindrapport PBO98/41/16. Laboratorium voor Bos, Natuur en Landschap, K.U.Leuven; Onderzoeksgroep Planten- en Vegetatie-Ecologie Universiteit Antwerpen, Centrum voor Economische Studiën, K.U.Leuven.

Niinemets Ü & Valladares, F. 2006. Tolerance to shade, drought, and waterlogging of temperate Northern Hemisphere trees and shrubs. *Ecological Monographs*, 76(4), 521–547.

Nitsch P. et al. 2018. Forest continuity, soil depth and tree species are important parameters for SOC stocks in an old forest (Templiner Buchheide, northeast Germany). *Geoderma* 310, 65–76.

Nussbaumer et al. 2020. Extreme summer heat and drought lead to early fruit abortion in European beech. *Nature - Scientific Reports* volume 10, Article number: 5334.

Quataert P., Vandekerckhove K., De Vos B., Simoens I., Verheyen K., Ceulemans R., Muys B., Van Acker J. (2018). Het bosonderzoek in Vlaanderen. Stand van zaken en toekomstverkenning. Conclusies en aanbevelingen naar aanleiding van het Bossymposium "Kennis voor het bos van de toekomst" op 12 mei 2017 in Brussel. Mededeling van het INBO 2018 (2).

Spathelf et al. 2015. Is Close-to-Nature Silviculture (CNS) an adequate concept to adapt forests to climate change? *Applied Agricultural and Forestry Research* 65, 161-170.

Sturrock, R.N. et al. 2011. Climate change and forest diseases. *Plant Pathology* 60, 133–149.

Tricot et al. 2015. Oog voor het klimaat. Uitgave KMI van België.

Uyttenbroeck, R., De Vos, B., Vander Mijnsbrugge, K. (2014). Verspreiding en Standplaats van Inheemse Bomen en Struiken in Vlaanderen. Onderzoek naar de relatie tussen voorkomen, bodem en omgevingskenmerken. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek INBO.R.2014.1388322

Vranckx G. et al. 2014. Tree density and population size affect pollen flow and mating patterns in small fragmented forest stands of pedunculate oak (*Quercus robur* L.). *Forest Ecology and Management* 328: 254-261.

Van der Aa et al. 2015. Effecten van klimaatverandering op natuur en bos. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2015 (INBO.R.2015.9952476)

Vander Mijnsbrugge K., De Keersmaeker L., Vandekerkhove K., Vanden Broeck A. 2020. Advies over te gebruiken bosbouwkundig teeltmateriaal bij bosaanleg. Advies INBO.A.3898

Bijlage 1: Beoordeling van klimaatrobustheid van een aantal veelvoorkomende boom- en struiksoorten in Vlaanderen* Scores tussen 1 (=zeer weinig tolerant) tot 5 (= zeer tolerant) (Bron: Niinemets & Valladares, 2006).

Soort	Oorsprong	Schaduwtolerantie	Droogte-tolerantie	Overstromings-tolerantie
<i>Abies alba</i>	Europe	4.6±0.06	1.81±0.28	1.02±0.02
<i>Abies grandis</i>	North America	4.01±0.19	2.33±0.33	1.57±0.3
<i>Acer campestre</i>	Europe	3.18±0.14	2.93±0.32	1.89±0.18
<i>Acer platanoides</i>	Europe	4.2±0.37	2.73±0.16	1.46±0.23
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Europe	3.73±0.21	2.75±0.16	1.1±0.08
<i>Aesculus hippocastanum</i>	Europe	3.43±0.27	2.82±0.15	1.39±0.17
<i>Ailanthus altissima</i>	East Asia	2.44±0.44	2.96±0.12	1.52±0.27
<i>Alnus glutinosa</i>	Europe	2.71±0.5	2.22±0.66	3.9±0.2
<i>Alnus incana</i>	Europe	2.3±0.25	1.89±0.29	2.84±0.34
<i>Betula pendula</i>	Europe	2.03±0.09	1.85±0.21	1.67±0.12
<i>Betula pubescens</i>	Europe	1.85±0.07	1.27±0.18	2.98±0.21
<i>Carpinus betulus</i>	Europe	3.97±0.12	2.66±0.16	1.65±0.06
<i>Castanea sativa</i>	Europe	3.15±0.23	3.46±0.18	1.32±0.28
<i>Cedrus libani</i>	Europe	1.35	2.75	1.03
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	North America	3.67±0.38	2.06±0.58	1.02±0.02
<i>Cornus mas</i>	Europe	2.68±0.33	3.17±0.42	1.77±0
<i>Cornus sanguinea</i>	Europe	1.93	3.04	1.88±0.11
<i>Corylus avellana</i>	Europe	3.53±0.23	3.04	1.68±0.09
<i>Crataegus laevigata agg.</i>	Europe	2.45±0.28	2.9±0.15	1.1±0.08
<i>Crataegus monogyna agg.</i>	Europe	1.93±0	3.46±0.42	1.68±0.09
<i>Cupressus sempervirens</i>	Europe	1.35	4.95	1.03
<i>Euonymus europaeus</i>	Europe	3.02±0.19	3.04±0	2.11
<i>Fagus sylvatica</i>	Europe	4.56±0.11	2.4±0.43	1.02±0.01
<i>Frangula alnus</i>	Europe	2.66±0	1.37±0	3.19±0
<i>Fraxinus excelsior</i>	Europe	2.66±0.13	2.5±0.25	2.7±0.3
<i>Fraxinus ornus</i>	Europe	3.02±0.38	4.31±0.41	2.5
<i>Ginkgo biloba</i>	East Asia	1.34±0.33	3.99±0.47	1.13±0.27
<i>Hippophae rhamnoides</i>	Europe	1.2±0	3.46±0.42	1.88±0.11
<i>Ilex aquifolium</i>	Europe	3.86±0.19	3.04±0	1.39±0.39
<i>Juglans nigra</i>	North America	1.93±0.25	2.38±0.38	1.83±0.27
<i>Juglans regia</i>	Europe	2.27±0.24	2.98±0.22	1.42±0.09
<i>Juniperus communis</i>	North America	1.71±0.52	4.41±0.59	2.07±0.07
<i>Larix decidua</i>	Europe	1.46±0.29	2.31±0.55	1.1±0.08
<i>Larix kaempferi</i>	East Asia	1.38±0.21	3±1	1.58±0.43
<i>Larix × eurolepis</i>	Europe	1.5	2.5	1
<i>Ligustrum vulgare</i>	Europe	2.29±0.19	3.46±0.42	1.88±0.11
<i>Malus sylvestris</i>	Europe	2.32±0.2	3.16±0.18	1.68±0.09
<i>Mespilus germanica</i>	Europe	2.66	3.88	1.04
<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	East Asia	3	2.38±0.38	1.52±0.48
<i>Picea abies</i>	Europe	4.45±0.5	1.75±0.41	1.22±0.12
<i>Picea omorika</i>	Europe	4.65	2.75	1.03
<i>Picea sitchensis</i>	North America	3.85±0.36	1.52±0.15	1.99±0.22
<i>Pinus nigra</i>	Europe	2.1±0.43	4.38±0.47	1.39±0.38
<i>Pinus ponderosa</i>	North America	1.64±0.15	4.32±0.32	1.02±0.02
<i>Pinus strobus</i>	North America	3.21±0.2	2.29±0.38	1.03±0.02
<i>Pinus sylvestris</i>	Europe	1.67±0.33	4.34±0.47	2.63±0.08
<i>Platanus orientalis</i>	Europe	3	3.5	2
<i>Platanus × acerifolia</i>	Europe	3	3.35±0.35	2.63±0.37
<i>Populus alba</i>	Europe	2.3±0.25	2.67±0.23	1.84±0.07
<i>Populus nigra</i>	Europe	2.46±0.09	2.2±0.38	3.7±0.3
<i>Populus tremula</i>	Europe	2.22±0.07	2.85±0.25	2.07±0.04
<i>Populus × canadensis</i>	Europe	1.67±0.33	1.77±0.23	2.13±0.13
<i>Populus × canescens</i>	Europe	2.66	2.21	1.77
<i>Prunus avium</i>	Europe	3.33±0.33	2.66±0.22	1.19±0.17
<i>Prunus mahaleb</i>	Europe	2.29±0.38	4.31±0.41	1.2±0.2

Soort	Oorsprong	Schaduwtolerantie	Droogte-tolerantie	Overstromings-tolerantie
<i>Prunus padus</i>	Europe	3.26±0.09	1.93±0.1	3.19±0
<i>Prunus serotina</i>	North America	2.46±0.34	3.02±0.02	1.06±0.06
<i>Prunus spinosa</i>	Europe	1.86±0.44	3.46±0.42	1.68±0.09
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	North America	2.78±0.18	2.62±0.41	1.79±0.12
<i>Pyrus pyraeaster</i>	Europe	2.26±0.42	3.31±0.59	1.77
<i>Quercus cerris</i>	Europe	2.55±0.11	4.29±0.21	1.29±0.25
<i>Quercus palustris</i>	North America	2.49±0.51	2.38±0.38	3.49±0.17
<i>Quercus petraea</i>	Europe	2.73±0.27	3.02±0.15	1.2±0.2
<i>Quercus pubescens</i>	Europe	2.31±0.22	4.1±0.25	1.39±0.39
<i>Quercus robur</i>	Europe	2.45±0.28	2.95±0.31	1.89±0.18
<i>Quercus rubra</i>	North America	2.75±0.18	2.88±0.12	1.12±0.06
<i>Rhamnus cathartica</i>	Europe	1.93±0	3.46±0.42	2.25±0.26
<i>Robinia pseudoacacia</i>	North America	1.72±0.25	4.11±0.65	1.07±0.08
<i>Rosa arvensis</i>	Europe	2.66±0	3.46±0.42	1.04
<i>Rosa canina</i>	Europe	1.93±0.38	3.46±0.42	1.77
<i>Rosa pimpinellifolia</i>	Europe	1.2±0	4.3±0.42	1.77
<i>Rosa scabriuscula</i>	Europe	1.2	4.72	1.04
<i>Rosa tomentosa</i>	Europe	1.56±0.19	3.88±0	1.04
<i>Rosa villosa</i>	Europe	2.5±0.3	3.88±0.84	1.04
<i>Salix alba</i>	Europe	1.99±0.18	2±0.21	4.1±0.03
<i>Salix aurita</i>	Europe	1.93±0	0.53±0	4.27
<i>Salix caprea</i>	Europe	2.16±0.08	2.24±0.23	2.84±0.34
<i>Salix cinerea</i>	Europe	1.93±0	0.11±0.42	4.13±0.15
<i>Salix fragilis</i>	Europe	1.42±0.18	1.23±0.39	3.94±0.02
<i>Salix triandra</i>	Europe	1.93±0	0.9±0.3	3.9±0.15
<i>Salix viminalis</i>	Europe	1.93±0	0.53±0	3.9±0.15
<i>Sambucus nigra</i>	Europe	2.29±0.19	3.04±0	1.68±0.09
<i>Sequoia sempervirens</i>	North America	4.21±0.21	2	0.95±0.05
<i>Sequoiadendron giganteum</i>	North America	3.05±0.24	2.88±0.12	1.27±0.27
<i>Sorbus aria</i>	Europe	3±0.16	3.55±0.12	1.32±0.28
<i>Sorbus aucuparia</i>	Europe	2.73±0.21	2.11±0.34	1.76±0.13
<i>Sorbus domestica</i>	Europe	3.53±0.18	3.52±0.26	1.04
<i>Sorbus intermedia</i>	Europe	2.66±0	2.21	1.04
<i>Sorbus torminalis</i>	Europe	3.38±0.2	3.74±0.13	1.04
<i>Taxodium distichum</i>	North America	2.13±0.06	3.25±0.38	4.93±0.06
<i>Taxus baccata</i>	Europe	4.43±0.13	3.01±0.17	1.32±0.28
<i>Thuja plicata</i>	North America	4.73±0.15	2.23±0.25	1.01±0.04
<i>Tilia cordata</i>	Europe	4.18±0.16	2.75±0.15	1.83±0.16
<i>Tilia platyphyllos</i>	Europe	4±0.2	2.52±0.16	1.02±0.02
<i>Tilia x vulgaris</i>	Europe	3.49	3.04	1.77
<i>Tsuga canadensis</i>	North America	4.83±0.14	1	1.25±0.25
<i>Tsuga heterophylla</i>	North America	4.96±0.07	1.17±0.17	0.95±0.05
<i>Ulex europaeus</i>	Europe	1.93±0	3.04±0	1.77
<i>Ulmus glabra</i>	Europe	3.53±0.13	2.41±0.13	2.03±0.44
<i>Ulmus laevis</i>	Europe	3.67±0.2	1.45±0.22	2.83
<i>Ulmus minor</i>	Europe	3.36±0.11	3.39±0.15	2.06±0.07
<i>Viburnum lantana</i>	Europe	1.93±0	3.46±0.42	1.68±0.09

*Deze lijst bevat ook een aantal uitheemse en zelfs invasieve soorten, en is dus niet te beschouwen als een lijst van 'aanbevolen' soorten. Deze lijst geeft enkel aan in welke mate een soort gevoelig is voor overschaduwing, droogte en overstroming. Ze geeft geen aanwijzingen naar standplaatsgeschiktheid. Hiervoor dienen andere bronnen (Uyttenbroeck et al., 2014) en tools zoals de online-tool voor bodemgeschiktheid voor bosbomen (<https://bobo.inbo.be/map>) worden gebruikt.