

Advies over de berekening van de koolstofvoorraad en de evolutie daarvan in de biomassa van Vlaamse bossen

Adviesnummer:	<u>INBO.A.4103</u>
Auteurs:	Luc De Keersmaecker, Anja Leyman, Suzanna Lettens, Bruno De Vos
Contact:	Lieve Vriens (lieve.vriens@inbo.be)
Kenmerk aanvraag:	e-mail van 3 december 2020
Geadresseerde:	Tijl Naveau Vlaamse Milieumaatschappij Team Emissie Inventaris Lucht Dokter De Moorstraat 24-26, 9300 Aalst t.naveau@vmm.be

<p>Dr. Maurice Hoffmann Administrateur-generaal wnd.</p>
--

Aanleiding

In het kader van het Klimaatverdrag (UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change) en artikels 7 en 8 van EU verordening 525/2013 rapporteert België jaarlijks over de emissie van broeikasgassen, waaronder CO₂. Dit National Inventory Report (NIR) bevat een balans van de koolstofputten en -bronnen. Als onderdeel van het hoofdstuk over landgebruik, veranderingen in landgebruik en bosbouw (Land Use, Land Use Change, and Forestry, LULUCF) wordt ook de evolutie van de koolstofopslag in de biomassa van bossen in België berekend.

De berekening van de koolstofopslag in Vlaamse bossen wordt uitgevoerd door de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), met behulp van gegevens van de Vlaamse bosinventaris die worden aangeleverd door het Agentschap voor Natuur en Bos (ANB). De berekening voor de volgende rapportage (2021) schijnt uit te wijzen dat de jaarlijkse koolstofopslag per ha aanzienlijk hoger is in Vlaamse dan in Waalse bossen en ook hoger dan wat vorige keer voor Vlaanderen werd gerapporteerd.

Vraag

Gezien de grote verschillen tussen Wallonië en Vlaanderen en tussen de huidige en de vroegere berekende waarden, vraagt de VMM om de methodiek door te lichten en zo nodig te verbeteren.

Toelichting

1 Berekening volgens de 'stock change method'

De koolstofopslag in bos en de evolutie daarvan, zoals begroot in het vorige NIR van 2020 (zie <https://unfccc.int/documents/224891>), past de 'stock change method' toe van de Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry (The Intergovernmental Panel on Climate Change, 2003, vergelijking 3.2.3).

De berekening van de totale koolstofvoorraad is gebaseerd op het gemiddelde stamhout volume (commercieel volume) per ha bos in Vlaanderen (V_s), met een aftop diameter van 7 cm, en de aandelen van de verschillende boomsoorten daarin. Het gemiddeld volume stamhout per ha op tijdstip i van boomsoort j wordt vermenigvuldigd met factoren om de totale C-voorraad per ha te bekomen:

$$C_{ij} = V_{s_{ij}} * D_j * BEF_j * (1 + R_j) * CF$$

met daarin:

C_{ij} [in ton C/ha] = de gemiddelde koolstofvoorraad per ha op tijdstip i van boomsoort j

$V_{s_{ij}}$ [in m³/ha] = het gemiddelde stamvolume op tijdstip i van boomsoort j

D_j [ton droge biomassa/m³] = de dichtheid van het hout van boomsoort j , voor de omzetting van volume naar massa

BEF_j [geen eenheid] = de Biomass Expansion Factor voor de omrekening van het volume van de stam (dit is het commercieel volume) naar het totale volume van de bovengrondse biomassa van boomsoort j

R_j [geen eenheid] = het aandeel van de ondergrondse tot de bovengrondse biomassa van boomsoort j , de som van beide resulteert in de totale biomassa

CF [geen eenheid] = het aandeel C op de droge biomassa, in het NIR 2020 werd voor Vlaanderen de waarde 0,5 gebruikt (d.i. de standaard volgens The Intergovernmental Panel on Climate Change, 2003).

De factoren BEF_j, R_j en D_j zijn specifiek voor elke boomsoort en worden weergegeven in tabel 6.6 van het NIR 2020.

Door sommatie van de koolstofvoorraden per ha van alle n boomsoorten, gewogen volgens hun aandeel in het gemiddelde bos, op tijdstip $i = 1$, wordt de totale koolstofvoorraad bekomen per ha bos op tijdstip 1:

$$C_1 = \sum_{j=1}^n C_{1j} \text{ [in ton C/ha]}$$

Van de Vlaamse bosinventaris zijn twee inventarisatierondes voltooid, zodat de evolutie van de koolstofopslag en de Carbon Uptake Factor (ΔC) van het Vlaamse bos kan berekend worden. Om de Carbon Uptake Factor te bepalen wordt het verschil van de koolstofvoorraden per ha berekend voor de eerste en de tweede bosinventarisatie, gedeeld door het aantal jaren tussen beide inventarisaties (y).

$$\Delta C = (C_2 - C_1) / (T_2 - T_1) \text{ [in ton C/ha.y]}$$

De Carbon Uptake Factor geeft dus de gemiddelde jaarlijkse vastlegging van C per ha weer door zowel de boven- als de ondergrondse biomassa.

2 Evolutie van het stamvolume

De stamvolumes die gebruikt worden in de 'stock change method', worden berekend met behulp van de Vlaamse bosinventaris, een systematische steekproef van het bos in Vlaanderen (zie <https://www.natuurenbos.be/beleid-wetgeving/natuurbeheer/bosinventaris>). De globale methodiek is beschreven door Westra *et al.* (2015) en de wijze waarop specifiek in functie van het NIR 2020 gemiddelde stamvolumes van boomsoorten werden bepaald, is beschreven in het INBO advies A.3844 (Westra, 2019).

De eerste Vlaamse bosinventaris werd uitgevoerd tussen 1997 en 1999 (gemiddeld tijdstip 1998), de tweede tussen 2009 en 2019 (gemiddeld tijdstip 2014), zodat het interval tussen beide meetcycli gemiddeld 16 jaar bedraagt. Een uitgebreide vergelijking van de resultaten van beide meetreeksen is te vinden op <https://www.natuurenbos.be/beleid-wetgeving/natuurbeheer/bosinventaris/resultaten>.

Het gemiddelde stamvolume aan levend hout per ha is aanzienlijk toegenomen tussen beide meetcycli: van 216,5 m³/ha naar 273,6 m³/ha, wat neerkomt op een gemiddelde jaarlijkse toename van 3,6 m³/ha. Deze forse toename wordt verklaard door de forse groei (lopende jaarlijkse aanwas) van boomsoorten en door de beperkte omvang van houtoogst, die naar schatting slechts 67% van de aanwas wegneemt (Govaere & Leyman, 2020). In Nederland nam de levende houtvoorraad toe van 194,6 m³/ha in 2001-2005 tot 216,6 m³/ha in 2012-2013, wat neerkomt op een toename van ongeveer 2,3 m³/ha/jaar (Schelhaas & Clerckx 2015). In Duitsland nam de voorraad tussen 2002 en 2012 toe met 1,9 m³/ha/jaar (Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft 2016, tabel 4.1.4). In Wallonië is de voorraad stamhout jaarlijks met ongeveer 1 m³/ha toegenomen tussen 2001 en 2012 (NIR 2020 tabel p. 222).

3 Carbon Uptake Factor berekend met vaste factoren (NIR 2020 Vlaanderen)

In het NIR van 2020 werden zowel voor Vlaanderen als voor Wallonië bovenstaande formules gebruikt om de Carbon Uptake Factor te bepalen, maar de gebruikte waarden voor de houtdensiteit (D) en Biomass Expansion Factor (BEF) waren niet dezelfde (Tabel 1). Om het effect hiervan op de berekende koolstofvoorraad in te schatten, passen we de uiteenlopende waarden van Vlaanderen en Wallonië, vermeld in tabel 6.6 van het NIR 2020, toe op dezelfde data van de Vlaamse bosinventaris.

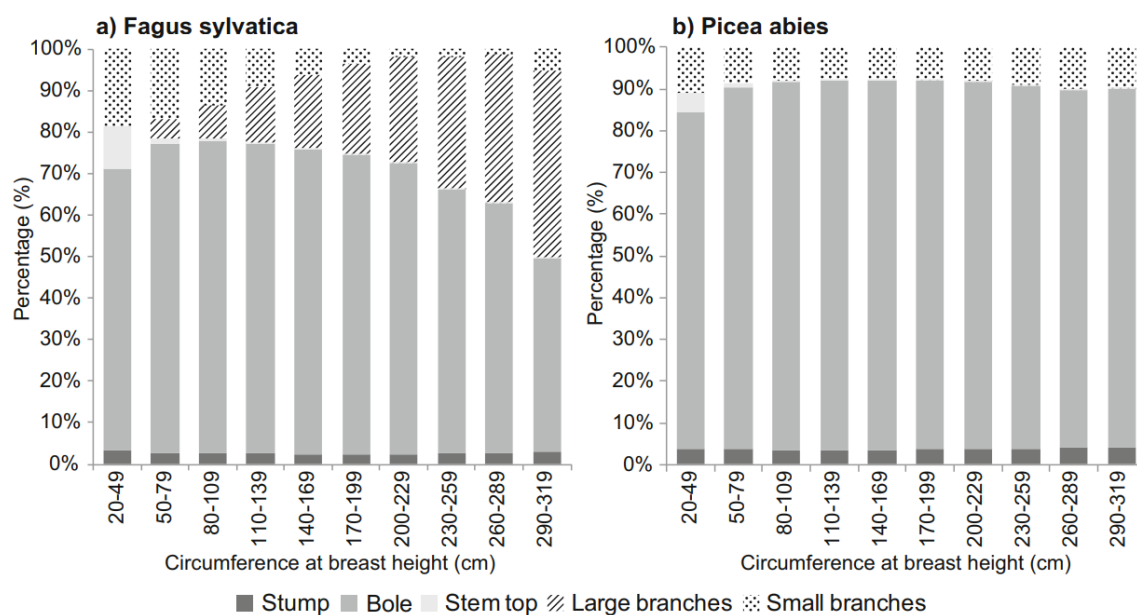
Tabel 1: Waarden voor de Biomassa Expansiefactor (BEF), het aandeel van de ondergrondse biomassa (R) en de densiteit van het hout (D) die werden toegepast in Vlaanderen (VL) en in Wallonië (W) voor de berekening van de Carbon Uptake Factor volgens het NIR 2020. De waarden voor Vlaanderen zijn gebaseerd op FAO Forestry Department (2008). Voor Wallonië zijn enkel de waarden van 2012 overgenomen uit tabel 6.6 van het NIR 2020.

Soort		BEF	BEF	R	R	D	D
		VL	W	VL	W	VL	W
Fijnspar	<i>Picea abies</i>	1,30	1,14	0,20	0,20	0,40	0,38
Winter- en zomereik	<i>Quercus petraea + robur</i>	1,39	1,35	0,21	0,21	0,60	0,56
Beuk	<i>Fagus sylvatica</i>	1,42	1,38	0,21	0,24	0,58	0,59
Grove den	<i>Pinus sylvestris</i>	1,23	1,12	0,16	0,16	0,42	0,42
Populieren	<i>Populus cv.</i>	1,40	1,29	0,21	0,21	0,35	0,34
Berk	<i>Betula spp.</i>	1,29	1,33	0,21	0,21	0,52	0,53
Corsicaanse den	<i>Pinus nigra ssp. laricio</i>	1,23	1,12	0,21	0,21	0,42	0,42
Gewone es	<i>Fraxinus excelsior</i>	1,29	1,25	0,21	0,21	0,52	0,56
Lork	<i>Larix sp.</i>	1,30	1,11	0,20	0,20	0,45	0,46
Douglasspar	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	1,29	1,16	0,17	0,17	0,46	0,43
Overig loofhout		1,40	1,52	0,21	0,21	0,55	0,52
Overig naaldhout		1,40	1,07	0,16	0,20	0,55	0,40

De Carbon Uptake factor die voor Wallonië werd berekend in functie van het NIR 2020, bedroeg 0,45 ton/ha/jaar. Door toepassing van de factorwaarden die voor Wallonië werden gebruikt op de gegevens van de Vlaamse bosinventaris, daalt de Carbon Uptake factor van 1,68 (methode 1 in Tabel 2) naar 1,51 ton/ha/jaar (methode 2 in Tabel 2). De verklaring hiervoor is dat de waarden die voor Vlaanderen worden gebruikt meestal hoger zijn dan voor Wallonië (Tabel 1). De factorwaarden, in het bijzonder de houtdensiteiten, hebben een belangrijke impact en zouden via bijkomend onderzoek beter onderbouwd kunnen worden voor onze regio (zie ook verder in hs. 4).

4 Carbon uptake factor berekend met gemodelleerde Biomass Expansion Factors

In het NIR 2020 werd gebruik gemaakt van een vaste waarde van de Biomass Expansion Factor (BEF) voor elke boomsoort, om de totale bovengrondse biomassa te berekenen van bossen in Vlaanderen. Door deze vaste waarde te gebruiken voor elke boomsoort, kan de koolstofvoorraad berekend worden op de gemiddelde samenstelling van het bos. In de loop van de ontwikkeling van een boom heeft het stamvolume echter geen constant aandeel in de totale biomassa (Figuur 1). Zo is bij kleine beuken het aandeel van de kroon en kleine takken, veel groter dan bij grote beuken. Bij beuken met een omtrek van minder dan 80 cm, nemen de top van de stam en de kleine takken ongeveer 20% van de totale biomassa in, terwijl dit bij dikkere beuken slechts om enkele procenten gaat. Bij fijnspar verandert dit aandeel veel minder, naarmate de boom groeit (Figuur 1).



Figuur 1: Aandelen van de stobbe (stump), de stam (bole), de stamtop (stem top), grote takken (large branches) en kleine takken (small branches) in de totale biomassa van beuk (a) en fijnspar (b), in relatie tot de omtrek op borsthoogte (circumference at breast height) (uit Geschwanter *et al.* 2019).

Het model van Longuetaud *et al.* (2013) berekent een meer precieze waarde van de BEF voor een afzonderlijke boom van een bepaalde soort, door gebruik te maken van de dimensies van de boom, nl. de diameter op borsthoogte (cm) en de hoogte (m):

$$BEF_{ij} = \exp(\beta_1 - DBH_{ij})^{\beta_2 + b_{2i}} + \exp(\beta'_3 * G_i + \beta_4 + b_{4i}) * (DBH_{ij}/H_{ij}^2) + 1 + \epsilon_{ij}$$

BEF_{ij} [geen eenheid] = Biomass Expansion Factor voor de omrekening van het volume van de stam (= commercieel volume) naar het totale volume van de bovengrondse biomassa van boomsoort j van geslacht i

DBH_{ij} [in cm] = diameter op borsthoogte van boomsoort j uit geslacht i

H_{ij} [in m] = hoogte van boomsoort j uit geslacht i

G_i [geen eenheid] = 1 voor angiospermen en 0 voor gymnospermen

β₁, β₂, β'₃, β₄ [geen eenheid] = model parameters (fixed effects)

b_{2i}, b_{4i} [geen eenheid] = model parameters (random effects)

ε_{ij} [geen eenheid] = foutterm (in de groep).

Deze functie wordt toegepast voor de berekening van de biomassa van de Waalse bossen voor de LULUCF rapportage in het NIR, maar ook voor de bepaling van het Forest Reference Level (FRL) van geheel België, dus inclusief de gegevens van de Vlaamse bosinventaris. Het FRL is een boekhouding van de koolstofvoorraad van bossen, die rekening houdt met de langetermijnontwikkeling van bossen als koolstofputten, waarbij veranderingen op de korte termijn, bijvoorbeeld door wisselende oogstvolumes, nog steeds mogelijk zijn (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019SC0213&from=EN>). De bepaling van het FRL van België wordt toegelicht in het National Forestry Accounting Plan (https://www.cnc-nkc.be/sites/default/files/report/file/national_forestry_accounting_plan_-_belgium_-_18122019_1.pdf)

De Visual Basic code en de parameterwaarden die toegepast worden op de Access database van de Inventaire Permanent des Ressources Forestières de Wallonie (IPRW) om op deze wijze de koolstofvoorraad te berekenen, werden samen met de begeleidende technische nota (Note technique version 20/11/2017) ter beschikking gesteld door Sébastien Bauwens (ULiège), die

deze berekeningen uitvoert i.o.v. het Département de la Nature et des Forêts (SPW) van het Waalse Gewest.

Toepassing van deze VBA code en parameterwaarden, volgens de technische nota, op de gegevens van de Vlaamse bosinventaris levert een Carbon Uptake Factor van 1,38 ton/ha/jaar op (zie methode 3 in Tabel 2), wat aanzienlijk minder is dan de waarden die bekomen werden met de vaste waarden voor de BEF en D (methodes 1 en 2 in tabel 2). De in de technische nota aangeleverde methodiek hanteert echter een koolstofgehalte (CF) van 0,47 in plaats van 0,50 en ook densiteiten van hout zijn niet gelijk aan de waarden die in het NIR 2020 werden toegepast op de gegevens van de Vlaamse bosinventaris. Om het effect van deze andere factorwaarden in te schatten, werden twee aanvullende berekeningen uitgevoerd (Tabel 2):

- methode 4) zoals methode 3 maar met CF gelijk aan 0,5 i.p.v. 0,47 ($\Delta C = 1,47$ ton/ha/jaar)
- methode 5) zoals methode 3 maar met CF gelijk aan 0,5 en met de densiteitswaarden die werden toegepast voor Vlaanderen in tabel 1 ($\Delta C = 1,60$ ton/ha/jaar)

De waarden die voor de Carbon Uptake Factor van Vlaamse bossen op 5 verschillende wijzen werden berekend (tussen 1,38 en 1,68 ton/ha/jaar), zijn steeds hoger vergeleken met de waarde van 0,45 ton/ha/jaar die voor Wallonië berekend werd voor het NIR 2020. De werkwijze van Wallonië zonder aanpassingen, levert voor Vlaanderen een waarde op van 1,38 ton/ha/jaar, d.i. 3,1 keer hoger dan in Wallonië. Het verschil in Carbon Uptake Factor wordt vooral verklaard door het verschil in gemiddelde bestandsaanwas, die ongeveer 3,6 maal hoger is in Vlaanderen dan in Wallonië (zie onderdeel 3).

De onderlinge vergelijking van de 5 berekeningswijzen (Tabel 2) leert ook dat de impact van de gekozen densiteiten en het koolstofgehalte groter is dan de modelmatige berekende vs. vaste waarden van de Biomass Expansion Factor (Tabel 2). Dit sluit aan bij de bevindingen van Vandewalle *et al.* (2005), die concluderen dat de densiteit van het hout een grote impact heeft op de berekening van de koolstofvoorraad in de biomassa van bomen. Aangezien een sterkere groei wellicht resulteert in een lagere densiteit, kunnen regionale verschillen in groeisnelheid en veranderingen van groeisnelheid in de tijd (bv. door klimaatverandering), een aanpassing van de houtdensiteiten verantwoorden. Hiervoor is echter bijkomend onderzoek nodig.

Tabel 2: Een overzicht van de resultaten van 5 methodes voor de berekening van de totale koolstofvoorraden van het bos in Vlaanderen op twee tijdstippen (respectievelijk C_{1998} en C_{2014}) en de Carbon Uptake Factor (ΔC), die de jaarlijkse verandering van de koolstofvoorraad weergeeft. Methodes 1) en 2) maken gebruik van vaste waarden voor de BEF en D, vermeld in tabel 1 voor respectievelijk Vlaanderen (methode 1) en Wallonië (methode 2). Methode 3) wordt gebruikt voor de bepaling van de Forest Reference Level en voor de Carbon Uptake Factor van bos in Wallonië, met een gemodelleerde BEF. Methode 4) is een aanpassing van methode 3), met CF = 0,5 i.p.v. 0,47. Methode 5) is eveneens een aanpassing van methode 3), met CF = 0,5 en de densiteiten (D) die voor Vlaanderen werden gebruikt in het NIR 2020, i.p.v. de waarden voor Wallonië (zie tabel 1).

Methode	C_{1998}	C_{2014}	$C_{2014} - C_{1998}$	ΔC
1) vaste factoren NIR 2020 VL	84,9	111,8	26,9	1,68
2) vaste factoren NIR 2020 W	73,5	97,6	24,2	1,51
3) gemodelleerde BEF	72,3	94,3	22,1	1,38
4) gemodelleerde BEF_CF	76,9	100,3	23,5	1,47
5) gemodelleerde BEF_CF_D	80,6	106,2	25,7	1,60

5 Europese vergelijking van de Carbon Uptake Factor

Vergelijking met de Carbon Uptake Factor van bos in 10 Europese landen, leert dat een hoge waarde wordt genoteerd voor Vlaamse bossen, ongeacht de toegepaste methodiek (vergelijk tabellen 2 en 3). In Nederland en Duitsland, waar eveneens een toename van de gemiddelde houtvoorraad werd genoteerd (zie onderdeel 2), bedraagt de Carbon Uptake Factor respectievelijk 1,12 en 1,16 ton/ha/jaar (Tabel 3).

De Carbon Uptake Factor van bos in België bedroeg volgens het NIR 2020 0,44 ton/ha/jaar (Tabel 3), met een waarde van 0,45 ton/ha/jaar voor bos in Wallonië en 0,38 ton/ha/jaar voor bos in Vlaanderen. Deze laatste waarde blijkt foutief te zijn (vergelijk met Tabel 2), waardoor ook de waarde voor België is onderschat. Als een waarde van 1,6 ton/ha/jaar voor Vlaanderen gebruikt wordt, als gemiddelde van methodes 1) en 2) gebaseerd op de methodiek van het NIR 2020 (Tabel 2), dan wordt bij benadering voor België een Carbon Uptake Factor van 0,76 ton/ha/jaar bekomen. Deze benaderende berekening houdt ook rekening met de aandelen van de bosoppervlakte in de regio's tot de totale bosoppervlakte van België.

Tabel 3: Vergelijking met de Carbon Uptake Factor (categorie 'forest land remaining forest land') van België met andere landen uit Europa (NIR 2020 van Duitsland; tabel 418 p. 626). De waarde voor België is gebaseerd op de foutieve aanname dat de Carbon Uptake Factor van Vlaamse bossen 0,38 ton C/ha/jaar bedraagt.

Land	ΔC [ton C/ha/jaar]
België	0,44
Denemarken	-0,43
Frankrijk	0,58
VK	0,79
Nederland	1,12
Oostenrijk	0,31
Polen	0,97
Zwitserland	0,50
Tsjechië	0,11
Duitsland	1,16

Conclusies

1. Het gemiddelde stamhoutvolume van bos in Vlaanderen is fors toegenomen tussen de eerste en tweede bosinventaris, die respectievelijk tussen 1997-1999 en 2009-2019 werden uitgevoerd. De gemiddelde jaarlijkse toename van het stamvolume bedraagt 3,6 m³/ha en kan toegeschreven worden aan een laag aandeel van de oogst ten opzichte van de aanwas.
2. De aanzienlijke toename van de levende biomassa van het Vlaamse bos geeft aanleiding tot een hoge Carbon Uptake Factor. Europese landen die ook een aanzienlijke biomassatoename meten, zoals Nederland en Duitsland, rapporteren eveneens een relatief hoge Carbon Uptake Factor.
3. Herberekeningen met vaste waarden voor de Biomass Expansion Factor en de houtdensiteit, vermeld in het NIR 2020, wijzen uit dat de Carbon Uptake Factor van het Vlaamse bos onderschat werd, waardoor ook de waarde voor België in dit rapport te laag is.
4. De toegepaste methodiek en de gekozen waarden voor het koolstofgehalte en de densiteit van het hout van de boomsoorten, hebben een aanzienlijke impact op de omvang van de berekende Carbon Uptake Factor. Aangezien de berekeningen gebruikt worden om het Forest Reference Level van België te onderbouwen, is het aangeraden om zoveel mogelijk uniformiteit na te streven en dezelfde omzettingsfactoren (houtdensiteit en Biomass Expansion Factor) te gebruiken in de drie gewesten, tenzij onderzoek uitwijst dat deze factoren aanzienlijke regionale verschillen vertonen.
5. De scripts en data die door de ULiège i.o.v. het Département de la Nature et des Forêts (SPW) van het Waalse Gewest werden ontwikkeld om deze berekeningen uit te voeren op de Waalse bosinventarisatie (IPRW), kunnen ook op de Vlaamse bosinventarisatie worden toegepast.
6. Het effect van factor D (houtdensiteit) op de ΔC inschatting dient verder onderzocht te worden. Wellicht is er een negatieve correlatie tussen houtdichtheid en aanwas. Aangezien in Vlaanderen hoge aanwassen worden vastgesteld, zou dit de koolstofdichtheid significant kunnen beïnvloeden.

Referenties

- Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (2016). Ergebnisse der Bundeswaldinventur 2012. https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn059812.pdf
- FAO Forestry Department (2008). The Global Forest Resources Assessment 2010. Guidelines for country reporting to FRA 2010. Forest Resources Assessment Programme, Working Paper 143. <http://www.fao.org/3/a-ak312e.pdf>
- Govaere L. & Leyman A. (2020). Nieuwe cijfers over de groei van bomen in Vlaanderen. Bosrevue 90a, 1-8.
- Gschwanter T., Alberdi I., Balázs A., Bauwens S., Bender S., Borota D., Bosela M., Bouriaud O., Cañellas I., Donis J., Freudenschuß A., Hervé J.-C., Hladnik D., Jansons J., Kolozs L., Korhonen K.T., Kucera M., Kulbokas G., Kuliešis A., Lanz A., Lejeune P., Lind T., Marin G., Morneau F., Nagy D., Nord-Larsen T., Nunes L., Pantić D., Paulo J.A., Pikula T., Redmond J., Rego F.C., Riedel T., Saint-André L., Šebeň V., Sims A., Skudnik M., Solti G., Tomter S.M., Twomey M., Westerlund B., Zell J. (2019). Harmonisation of stem volume estimates in European National Forest Inventories. *Annales of Forest Science* 76: 1–23.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2003) Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC, <https://www.ipcc.ch/publication/good-practice-guidance-for-land-use-land-use-change-and-forestry/>

Longuetaud F., Santenoise P., Mothe F., Kiessé T.S., Rivoire M., Saint-André L., Ognouabi N., & Deleuze C. (2013). Modeling volume expansion factors for temperate tree species in France. *Forest Ecology and Management* 292: 111-121.

Note technique version 20/11/2017. Estimation du volume et biomasse de différents compartiments de l'arbre. Accompagnement scientifique de l'IPRFW. Uliège - Wallonie environnement SPW.

Schelhaas M.-J. & Clerckx S. (2015). Het Nederlandse bos in cijfers. Resultaten van de 6e Nederlandse Bosinventarisatie. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 12: 23 - 27. <https://edepot.wur.nl/329049>

Vande Walle I., Van Camp N., Perrin D., Lemeur R., Verheyen K., Van Wesemael B., & Laitat E. (2005). Growing stock-based assessment of the carbon stock in the Belgian forest biomass. *Annals of Forest Science* 62(8): 853–864.

Westra, T., Verschelde, P., Van Calster, H., Lommelen, E., Onkelinx, T., Quataert, P., Govaere, L. (2015). Opmaak van een analysestramien voor de gegevens van de Vlaamse bosinventarisatie. Rapport INBO.R.2015.9034827, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO).

Westra T. (2019). Advies over de berekeningswijze van het volume hout in de bossen in Vlaanderen. Adviezen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO.A.3844). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.