



Koolstofopslag in laagstamboomgaarden in Vlaanderen

mei 2023

ILVO

Instituut voor Landbouw-,
Visserij- en Voedingsonderzoek

Koolstofopslag in laagstamboomgaarden in Vlaanderen

Auteurs

Dr. Ir. Paul Pardon
Ir. Inge Speeckaert
Dr. Ir. Bert Reubens

Met dank aan

De proefveldhouders, de leden van de sectorvakgroep Fruit en de opdrachtgevers van Boerenbond

Foto's ©

ILVO tenzij anders vermeld

Teksten mogen worden overgenomen, mits duidelijke bronvermelding

Pardon, P., Speeckaert, I., Reubens, B. 2023. Koolstofopslag in laagstamboomgaarden in Vlaanderen. Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek (ILVO), Merelbeke, België. 29 p.

Studie uitgevoerd door het Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek (ILVO) in opdracht van Boerenbond.

Financiering

Boerenbond

ILVO



Leeswijzer

Dit rapport heeft als doel een inschatting te maken van de koolstofsequestratie in de bodem en houtige biomassa in laagstamboomgaarden in Vlaanderen. De focus ligt hierbij op perenboomgaarden met Conference. Het eerste gedeelte betreft de bevindingen uit een literatuurstudie waarbij onder meer de koolstofdynamiek beschreven wordt en de resulterende vastlegging zoals aangetoond in praktijkonderzoek cijfermatig wordt voorgesteld. Door het beperkt aantal beschikbare studies werd hierbij tevens onderzoek beschouwd dat op hoogstamboomgaarden en agroforestrysystemen focust. De effectieve koolstofvastlegging kan echter sterk variëren tussen deze verschillende types systemen alsook onderling tussen verschillende percelen van eenzelfde systeem. De resultaten omvatten dan ook een vrij brede range die een eerste ruwe indicatie geeft van de potentiële koolstofvastlegging.

In het tweede gedeelte wordt specifiek gefocust op laagstamboomgaarden in onze contreien. Daarbij worden de methodiek en resultaten besproken van een proef die in het kader van deze studie werd uitgevoerd in Vlaanderen. Hierbij werd een set laagstamboomgaarden geselecteerd waarbinnen vervolgens bodem- en biomassametingen werden uitgevoerd. De verwerking van de gegevens leidt tot een inschatting van de jaarlijkse koolstofvastlegging en de daaruit resulterende stijging in koolstofstock voor laagstamboomgaarden in Vlaanderen.

Samenvatting

Uit de literatuur blijkt dat (laagstam)boomgaarden een grotere koolstofstock kunnen bevatten in vergelijking met landbouwsystemen zonder houtige component. Dit enerzijds door de vastlegging van koolstof in de houtige biomassa en anderzijds door een gestegen bodemkoolstofgehalte. Dit laatste is het gevolg van de bijkomende input van organisch materiaal afkomstig van bladval en snoeisel, wortellexudaten en het afsterven van fijne boomwortels. De grootteorde van koolstofvastlegging wordt echter in sterke mate bepaald door meerdere factoren zoals boomsomdichtheid, boomleeftijd, klimaat en beheer van de boomgaard. Op basis van de literatuur ligt deze waarde voor appel- en perenboomgaarden in de gematigde streken van Europa vermoedelijk tussen 0.24 en 1.44 ton per hectare per jaar. In het kader van deze studie werden 12 laagstamboomgaarden in Vlaanderen bemonsterd. Het betrof 9 perenboomgaarden (alle met variëteit Conference) en 3 appelboomgaarden. De leeftijd van de boomgaarden varieerde tussen 9 en 70 jaar. Enerzijds werd op een subset van 8 percelen het bodemkoolstofgehalte gekwantificeerd in de gras- en bruinstrook, en dit in drie bodemhorizonten (0-30, 30-60, 60-90 cm). Daarnaast werd voor elk perceel uit de percelenset de hoeveelheid aanwezige houtige biomassa opgemeten en werd de daarmee gepaard gaande koolstofstock afgeleid. Ten slotte werden bladvalmetingen uitgevoerd om de input van organisch materiaal door bladstrooisel in de bodem te kwantificeren. Zowel in de bodem- als biomassametingen werd geen significant verschil waargenomen tussen appel- en perenboomgaarden. In de bodem werd een jaarlijkse stijging van ca. 0.65 ton koolstof per hectare waargenomen. Sterkere stijgingen werden vastgesteld wanneer de huidige meetwaarden vergeleken werden met meetwaarden die 8 tot 10 jaar geleden werden waargenomen op deze percelen. Deze stijging speelde zich voornamelijk af in de bovenste bemonsterde bodemlaag (0-30 cm). Naast de hoger genoemde factoren speelt hierbij in de bemonsterde percelen wellicht ook het gerichte bodembeheer met toepassing van stalmest een rol. Daarnaast werd in de houtcomponent een jaarlijkse stijging in koolstofstock tot 0.54 ton per hectare waargenomen. Voor de set proefpercelen kwam dit gemiddeld overeen met een additionele koolstofstock van 21.5 ton per hectare. Bij het rooien van de bomen of bij het stopzetten en/of verplaatsen van de boomgaard dient gestreefd te worden naar behoud van de opgebouwde bodemkoolstofstocks, bijvoorbeeld door het beperken van bodemverstoring, en een duurzame aanwending van de geproduceerde houtstroom zoals het geval is in langdurige toepassingen en/of bij gebruik als alternatieve energiebron.

Lijst met gebruikte afkortingen

C: koolstof

CARAT: CARbon Agroforestry Tool

cm: centimeter

cm³: kubieke centimeter

CO₂: koolstofdioxide

DBH: diameter op borsthoogte

g: gram

gem.: gemiddelde

ha: hectare

IC: anorganische koolstof

i.s.m.: in samenwerking met

j: jaar

m: meter

m³: kubieke meter

ns: niet significant

o.a.: onder andere

OC: organische koolstof

pers. comm.: personal communication

stdev.: standaarddeviatie

TC: totale koolstof

Inhoud

1	Literatuurstudie	1
1.1	Koolstofopslag in de bodem	1
1.1.1	Samenvatting en voornaamste conclusies uit de literatuur	1
1.1.2	Gedetailleerde weergave van methodiek en resultaten per studie	5
1.2	Koolstofopslag in houtige biomassa	8
1.2.1	Samenvatting en voornaamste conclusies uit de literatuur	8
1.2.2	Gedetailleerde weergave van methodiek en resultaten per studie	10
1.3	Globale koolstofopslag	12
2	Bemonstering laagstamboomgaarden in Vlaanderen	13
2.1	Materiaal en methoden	13
2.1.1	Perceelsbeschrijving	13
2.1.2	Protocol bemonstering bodemkoolstof	14
2.1.3	Protocol bepaling koolstofvoorraad in houtige biomassa	16
2.1.4	Protocol bepaling bladval	17
3	Resultaten en bespreking	18
3.1	Bodemkoolstofvoorraad	18
3.2	Koolstofvoorraad in (houtige) biomassa	22
3.3	Totale koolstofopbouw	24
4	Besluit	25
5	Referenties	26

1 Literatuurstudie

In tegenstelling tot bossen en (natuurlijke) graslanden waarbij vaak wordt verwezen naar het opslagpotentieel voor koolstof (C), worden landbouwsystemen vaak eerder als netto bron van koolstofuitstoot gezien (Ceschia et al., 2010). Studies hebben echter aangetoond hoe duurzame landbouwsystemen het potentieel hebben om koolstof vast te leggen met snelheden die vergelijkbaar zijn met die van bossen (Wu et al., 2012; Zanutelli et al., 2013). Voor boomgaarden zijn deze aspecten slechts in beperkte mate onderzocht (Panzacchi et al., 2012) en beschikbare studies limiteren zich vooral tot de mediterrane regio en Azië (Gupta en Sharma, 2011; Montanaro et al., 2017; Panzacchi et al., 2012; Wu et al., 2012). Een belangrijke bemerking bij deze literatuurstudie is dan ook dat wegens de beperkte beschikbaarheid aan studies in laagstamboomgaarden ook hoogstamboomgaarden en agroforestrysystemen werden meegenomen. Uit deze studies blijkt dat appel- en perenboomgaarden wel degelijk netto koolstof kunnen opslaan. De mate waarin dit gebeurt, is daarbij sterk afhankelijk van leeftijd, klimaat, beheer en plantdichtheid. Eigenschappen van boomgaarden die hierbij in hun voordeel spelen, zijn onder andere hun relatief jonge leeftijd in vergelijking met bijvoorbeeld bossen, aangezien de fotosyntheseactiviteit van jonge bomen doorgaans groter is dan die van oudere bomen (Wu et al., 2012). Daarenboven vergroot snoeien de fotosynthesesnelheid, hebben fruitbomen een eerder lage respiratiesnelheid wanneer men dit vergelijkt met andere planten en zorgen hun diepere wortels voor een directe overdracht van de koolstof naar diepere lagen (Zanutelli et al., 2013). Tot slot speelt ook het beheer in boomgaarden een belangrijke rol. De grasstrook is een vorm van permanente vegetatie, wat doorgaans een positieve invloed heeft op de bodemkoolstofvoorraad (De Feudis et al., 2022). Ook het achterlaten van verhakselde snoeimateriaal (Figuur 1) en het aanbrengen van mest zorgt voor een extra bron van koolstof en kan bovendien het verlies aan CO₂ via respiratie deels beperken door de bodem te bedekken (Demestihis et al., 2017). Onkruidbestrijding en irrigatie kunnen anderzijds tot een verhoogde koolstofmineralisatie en gerelateerde respiratie leiden (Demestihis et al., 2017).



Figuur 1: Achterlaten van snoeisel in de boomstrook.

1.1 Koolstofopslag in de bodem

1.1.1 Samenvatting en voornaamste conclusies uit de literatuur

De bodem wordt gezien als een belangrijk reservoir voor de captatie van koolstof uit de atmosfeer (Montanaro et al., 2017). Het aandeel en potentieel van fruitboomgaarden hierin is nog onvoldoende bestudeerd, hoewel het aangetoond is dat een conversie van akkerland naar fruitboomgaard gepaard

gaat met een netto opslag van bodemkoolstof (De Feudis et al., 2022). De voornaamste redenen hiertoe zijn een reductie in bodemversturende handelingen zoals ploegen en daarnaast de grotere hoeveelheid koolstof die dieper in de bodem wordt gebracht (Shi et al., 2015). Hierbij zorgt zowel de boomcomponent voor de opbouw van bodemkoolstof via de afbraak van biomassa zoals snoeimateriaal, bladeren en afgestorven en fijne wortels, alsook de grasstrook en eventueel ander aangebracht organisch materiaal zoals mest (Nelissen et al., 2018; Dad et al., 2021; De Feudis et al., 2022; Panzacchi et al., 2012).

Tabel 1 geeft een overzicht van de bodemkoolstofvoorraad gemeten in de beschouwde studies en, indien bepaald, de bijhorende koolstofaccumulatiesnelheid (berekend ten opzichte van de koolstofvoorraad in naburig akkerland). In de meeste studies is er sprake van een netto sequestratie van koolstof, gaande van ongeveer 0.24 ton koolstof per hectare (ha) per jaar in de bovenste 100 cm tot 1.44 ton C ha⁻¹ jaar⁻¹ in de bovenste 30 cm. Daarnaast wordt een significant hogere bodemkoolstofvoorraad in boomgaarden aangetroffen in vergelijking met akkerland, gaande van ongeveer 20 tot 105.2 ton C ha⁻¹ in de bovenste 30 cm (Chisanga et al., 2018; De Feudis et al., 2022; Shi et al., 2015). Dit verschil was vaak niet meer significant vanaf een diepte >30 cm (De Feudis et al., 2022). Ook in jonge boomgaarden (<10 jaar) was dit verschil niet aanwezig of was de bodemkoolstofvoorraad zelfs lager in de boomgaard dan in het akkerland (Shi et al., 2015). Naarmate de bomen ouder worden, stijgt de bodemkoolstofstock echter significant (Shi et al., 2015; Zhang et al., 2021). Ook een hogere boomdensiteit per ha zorgt voor een grotere bodem koolstofvoorraad (Zhang et al., 2021). De hoogste bodem stock werd gemeten in de bovenste 20 cm en nam telkens af met de diepte (Chisanga et al., 2018; Dad et al., 2021; De Feudis et al., 2022; Midwood et al., 2020; Shi et al., 2015; Zhang et al., 2021). Een verklaring hiervoor is de grote densiteit van ondiepe graswortels en fijne boomwortels in de bovenste bodemlaag en de afbraak van snoeisel en bladeren die op de bodem terecht komen (De Feudis et al., 2022).

Wanneer de boomstrook vergeleken wordt met de grasstrook, vindt men vaak een hogere bodemkoolstofvoorraad in de grasstrook, mede door de hoge worteldensiteit en de hoge productiviteit zoals deze gekend is voor grasland (De Feudis et al., 2022; Leinfelder et al., 2012; Midwood et al., 2020). Wanneer in deze grasstrook of in de bomenrij ook organisch materiaal wordt aangebracht, zoals snoeisel of mest, kan dit de bodemkoolstofvoorraad verder verhogen (Dad et al., 2021; Leinfelder et al., 2012; Vicente-Vicente et al., 2016).

Tabel 1: Koolstofopslag (gem. ± stdev. in ton C per ha) en koolstofaccumulatie in de bodem (gem. ± stdev. in ton C per ha per jaar). NG = niet gekend.

Studie	Systeem	C-opslag (ton C ha ⁻¹)	C-accumulatie (ton C ha ⁻¹ jaar ⁻¹)	Opmerkingen
Bargali et al., 2019 (Indië)	Peer agroforestry (8-10j, 150 bomen ha ⁻¹)	30.93 ± 0.61 (0-15 cm) 33.13 ± 0.72 (0-15 cm) 40.62 ± 1.80 (0-15 cm)		Referentie (akkerland) Referentie (verlaten akkerland >8j)
Chisanga et al., 2018 (Indië)	Appelboomgaard (25j, 185 bomen ha ⁻¹) Appelboomgaard (20j, 212 bomen ha ⁻¹) Appelboomgaard (18j, 400 bomen ha ⁻¹)	151.15 (0-100 cm) 145.91 (0-100 cm) 124.47 (0-100 cm) 159.39 (0-100 cm) 105.99 (0-100 cm) 132.87 (0-100 cm)		1900-2170m 2170-2440m 2440-2710m Referentie (akkerland) 1900-2170m Referentie (akkerland) 2170-2440m Referentie (akkerland) 2440-2710m
Dad et al., 2021 (Indië)	Appelboomgaard (15j, bomen ha ⁻¹ NG)	17.23 ± 2.6 (0-10 cm) 14.71 ± 1.8 (10-20 cm) 14.49 ± 2.2 (20-30 cm) 46.43 ± 2.21 (0-30 cm) 15.67 ± 2.5 (0-10 cm) 14.0 ± 1.9 (10-20 cm) 13.72 ± 3.1 (20-30 cm) 43.4 ± 2.51 (0-30 cm)		Bodembedekker Bodembedekker Bodembedekker Bodembedekker Zonder bodembedekker Zonder bodembedekker Zonder bodembedekker Zonder bodembedekker
De Feudis et al., 2022 (Italië)	Perenboomgaard (20j, 820 bomen ha ⁻¹)	Ongeveer 43 (0-15 cm) Ongeveer 18 (15-30 cm) Ongeveer 61 (0-30 cm) Ongeveer 32 (0-30 cm)	1.44 (0-30 cm)	Referentie (akkerland)
Gupta en Sharma, 2011 (Indië)	Appelboomgaard (leeftijd en bomen ha ⁻¹ NG)	105.20 ± 30.41 (0-30 cm) 75.76 ± 44.01 (0-30 cm)		Referentie (grasland)
Leinfelder et al., 2012 (VSA)	Appelboomgaard (17j, 600 bomen ha ⁻¹)	32.45 (0-20 cm) 34.82 (0-20 cm) 47.69 (0-20 cm)		Kale boomstrook Gras in boomstrook <i>Mulch</i> in boomstrook
Midwood et al., 2020 (Canada)	Appelboomgaard (leeftijd en bomen ha ⁻¹ NG)	Ongeveer 34 (0-15 cm) Ongeveer 21 (15-30 cm)		In bomenrij In bomenrij

		Ongeveer 50 (0-15 cm) Ongeveer 28 (15-30 cm)		In grasstrook In grasstrook
Panzacchi et al., 2012 (Italië)	Appelboomgaard (10j, 2632 bomen ha ⁻¹)		0.87 ± 0.09 (0-60 cm)	
Shi et al., 2015 (China)	Appelboomgaard (10-15j, 884 bomen ha ⁻¹)	Ongeveer 12 (0-10 cm) Ongeveer 10 (10-20 cm) Ongeveer 19 (20-40 cm) Ongeveer 18 (40-60 cm) Ongeveer 19 (60-80 cm) Ongeveer 16 (80-100 cm) Ongeveer 94 (0-100 cm) Ongeveer 90 (0-100 cm) Ongeveer 97 (0-100 cm) Ongeveer 91 (0-100 cm)	Ongeveer 0.24 (0-100 cm)	
	<10j >15j			Referentie (akkerland)
Zanotelli et al., 2013 (Italië)	Appelboomgaard (9j, 3300 bomen ha ⁻¹)	213 ± 28 (0-60 cm)		
Zhang et al., 2021 (China)	Appelboomgaard (20j gemiddeld, 720 bomen ha ⁻¹ gemiddeld)	254.04 (0-500 cm) 175.47 (0-500 cm) 17.12 (0-20 cm) 13.36 (0-20 cm) 27.66 (20-60 cm) 22.02 (20-60 cm) 36.20 (60-120 cm) 28.15 (60-120 cm)		Vochtig klimaat Droog klimaat Vochtig klimaat Droog klimaat Vochtig klimaat Droog klimaat Vochtig klimaat Droog klimaat

1.1.2 Gedetailleerde weergave van methodiek en resultaten per studie

Bargali et al. (2019) onderzocht een agroforestrysysteem met peer (8 tot 10 jaar) en een rotatie van soja (*Glycine max* (L.) Merr.) en tarwe (*Triticum aestivum* L.) in het Nainital district in Uttarakhand, India. Op een hoogte van 1219 m gold een gematigd moesson klimaat en een overwegend zandige bodem. Voor het bepalen van de bodemorganische stof werden 5 bodemstalen genomen van 10 cm lang, 10 cm breed en 15 cm diep, waarvan na drogen vervolgens 3 mengstalen werden gemaakt. Dit werd in drie verschillende seizoenen gedaan (zomer, regenseizoen en winter). De bodemkoolstofvoorraad werd bepaald door het koolstofgehalte (%) van de bodem te vermenigvuldigen met de diepte en bulkdensiteit. De koolstofvoorraad in de bovenste 15 cm van de bodem bedroeg 30.93 ± 0.61 ton C ha⁻¹. In dezelfde studie werd de koolstofvoorraad ook in een agroforestrysysteem met meerdere boomsoorten, in akkerland, homegardens en in braakliggend akkerland bepaald. Het agroforestrysysteem met peer had de laagste bodem koolstofvoorraad vergeleken met de andere landbouwsystemen op deze hoogte, hoewel niet significant verschillend.

Chisanga et al. (2018) mat het bodem koolstofgehalte in drie appelboomgaarden in het Kinnaur District in India van 25 jaar, 20 jaar en 18 jaar. De boomgaarden waren respectievelijk gelegen op 1900-2170 m, 2170-2440 m en 2440-2710 m hoogte en hadden een droog gematigd klimaat. Voor de bepaling van de bodemorganische koolstof werden drie mengstalen verzameld op verschillende dieptes (0-20, 20-40, 40-100 cm). De bodemkoolstofvoorraad in de bovenste 20 cm bedroeg gemiddeld 27.3 ton C ha⁻¹. Het gemiddelde koolstofgehalte was hoger onder boomgaarden dan onder akkerland. Een effect van bomendensiteit op de bodemkoolstofvoorraad was niet aanwezig.

Dad et al. (2021) bepaalde het koolstofgehalte in de bodem onder een agroforestrysysteem met appel (15 jaar) en een rotatie van rode klaver (*Trifolium pratense* L.) en rietzwenkgras (*Festuca arundinacea* L.) in de Kashmir regio in India. Hier geldt een gematigd klimaat. Vier bodemstalen werden genomen op de grens van de akkerbouwstroken ("alley's") en de bomenrij (buiten invloed van het bladerdek) op drie verschillende dieptes (0-10, 10-20 en 20-30 cm). In totaal werd een bodemkoolstofvoorraad van 46.43 ± 2.21 ton C ha⁻¹ gemeten in de bovenste 30 cm. Dit was hoger dan wanneer er geen bodembedekker in de alley tussen de bomen groeide.

De Feudis et al. (2022) verzamelde bodemstalen in een 20 jaar oude perenboomgaard in Italië (Emilia Romagna regio) met vochtig subtropisch klimaat (Cfa) volgens de Köppen classificatie. Gras diende als bodembedekker tussen de rijen in de boomgaard en een perceel akkerland gebruikt voor de productie van tarwe werd als referentie beschouwd. In totaal werden drie punten bemonsterd waar telkens bodemstalen op 0-15 cm diepte en 15-30 cm diepte werden genomen. Hieruit werden zowel de bodemkoolstofvoorraad als de accumulatie van bodemkoolstof bepaald ($(C_{\text{boomgaard}} - C_{\text{referentie}}) / \text{leeftijd boomgaard}$). In de bovenste 30 cm werd een koolstofvoorraad van ongeveer 61 ton C ha⁻¹ gemeten.

Verschillen met akkerland waren enkel significant in de bovenste 15 cm, waar onder de boomgaard significant meer koolstof werd opgeslagen. In de ondergrond (15-30 cm) waren er geen significante verschillen. De studie benadrukt wel het belang om de diepere ondergrond mee te bemonsteren in toekomstige studies.

Gupta et al. (2011) onderzochten het koolstofgehalte in zeven appelboomgaarden in de Garhwal regio in Uttarakhand, India met een gematigd moesson klimaat op 1988-2353 m hoogte. Per site werden 5 bodemstalen genomen (10 cm lengte x 10 cm breedte x 30 cm diepte) en de gemiddelde bodemkoolstofvoorraad werd berekend. Een gemiddelde koolstofvoorraad (0-30 cm) van 105.2 ton C ha⁻¹ werd gemeten. Vergeleken met andere fruitboomgaarden in de regio was de koolstofopslag het hoogst onder appelbomen.

Leinfelder et al. (2012) bemonsterde een 17 jaar oude appelboomgaard, met rietzwenkgras als bodembedekking tussen de rijen, in de Verenigde Staten (Cayuga Lake) met een vochtig continentaal klimaat. Bodemstalen werden op 0.5 m afstand van de boomstam genomen, tot een diepte van 20 cm. Er werd geen akkerland bemonsterd ter referentie om de koolstofaccumulatie te bepalen. Er werd een bodemkoolstofvoorraad van 11.8 ton C ha⁻¹ gemeten in de bovenste 20 cm in de bomenrij wanneer deze bedekt was met gras en 24.7 ton C ha⁻¹ wanneer deze bedekt was met mulch. Indien herbiciden gebruikt werden om deze rij onkruidvrij te houden, werd er gemiddeld slechts 9.46 ton C ha⁻¹ gemeten (rekening houdend met de oppervlakte van de bomenrij per perceel). In het rijpad bedekt met gras werd een bodemkoolstofvoorraad van 22.98 ton C ha⁻¹ gemeten (rekening houdend met de oppervlakte van de grasstrook per perceel).

Midwood et al. (2020) onderzochten het bodemkoolstofgehalte in appelboomgaarden in de Okanagan Vallei in Canada, waar een semi-aride klimaat heerst. In totaal werden 36 sites bemonsterd met verschillende bodemtypes (Kastanozems, Cambisols en Luvisols). Tien tot 20 bodemstalen werden per site genomen op 0-15 cm en 15-30 cm diepte, waarvan een mengstaal werd gemaakt. Stalen werden zowel genomen in het rijpad (midden) als in de bomenrijen (op 25 en 50 cm van de boomstam). De bodemkoolstofvoorraad werd opnieuw bepaald a.d.h.v. de bulkdensiteit. De koolstofvoorraad was het hoogst in de bovenste 15 cm in het midden van het rijpad, i.e. ongeveer 50 ton C ha⁻¹, en daalde met diepte. Enkel in de bovenste 15 cm werd een significant verschil in bodemkoolstofvoorraad gevonden tussen stalen genomen in de bomenrij en stalen genomen in het rijpad.

Panzacchi et al. (2012) bepaalde het bodemkoolstofgehalte in een 10 jaar oude appelboomgaard in de Po vallei in Italië (vochtig subtropisch klimaat (Cfa) volgens de Köppen classificatie, bodemtype Udic Ustochreps). De bomenrij werd onkruidvrij gehouden en tussen de bomenrijen groeide gras. Zestien bodemstalen werden genomen over een diepte van 0-60 cm in zowel 1996 (conversie van akkerland)

als in 2006 (10j oude boomgaard), wat de bepaling van gemiddelde bodem koolstofaccumulatie per jaar mogelijk maakt. Een netto koolstofopslag van 0.87 ± 0.09 ton C ha⁻¹ jaar⁻¹ werd gemeten in de bovenste 60 cm van de bodem.

Shi et al. (2015) mat het bodemkoolstofgehalte in appelboomgaarden van verschillende leeftijdsklasse in Xunyi county, China (warm gematigd moesson klimaat met bodemtype Cumuli-Ustic Isohumosol). Per leeftijdsklasse (<10j, 10-15j, >15j) werden 4 boomgaarden bemonsterd die aangeplant werden op landbouwgrond. Bijkomend werden 4 aanliggende akkers bemonsterd ter referentie. In elk perceel werden 7 bodemstalen genomen op 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 en 80-100 cm diepte op een afstand dat overeenkwam met 2/3^e van de kruinprojectie. Stalen van dezelfde diepte en dezelfde boomgaard werden samengevoegd tot een mengstaal. De bodemkoolstofvoorraad nam globaal toe met diepte en met leeftijd van de bomen. Boomgaarden jonger dan 10 jaar hadden een iets lagere bodemkoolstofvoorraad dan het akkerland.

Zanotelli et al. (2013) bemonsterde een negen jaar oude appelboomgaard in Caldaro (Italië) met een grasstrook tussen de rijen en een kale boomstrook (gematigd continentaal klimaat). Er werden geen details gegeven in verband met de genomen bodemstalen, behalve dat deze tot op een diepte van 60 cm werden genomen. De bodemkoolstofvoorraad van de bovenste 60 cm bedroeg in deze studie 213 ± 28 ton C ha⁻¹.

Zhang et al. (2021) bestudeerde zeven appelboomgaarden gelegen op het Loess Plateau in China (gematigd continentaal moesson klimaat). Het studiegebied omvatte 2 'klimaat' zones met een semi-arid (3 boomgaarden) en een semi-humid gebied (4 boomgaarden). Per boomgaard werden gemiddeld 4 punten bemonsterd, die telkens het midden waren van een rechthoek gevormd door 4 bomen, tot op een diepte van 5 m met sprongen van 20 cm. De bodem koolstofvoorraad was het hoogst in het semi-humid gebied en de koolstofvoorraad daalde met toenemende diepte. Bovendien steeg de koolstofvoorraad met stijgende leeftijd van de boomgaard. Dezelfde trend werd gevonden voor de plantdichtheid, hoewel dit resultaat niet significant was.

1.2 Koolstofopslag in houtige biomassa

1.2.1 Samenvatting en voornaamste conclusies uit de literatuur

Door het meerjarige karakter van boomgaarden zijn deze in staat een zekere hoeveelheid koolstof op te slaan in hun houtige biomassa (Sharma et al., 2021). De koolstof die door houtige vegetatie gefixeerd wordt via fotosynthese wordt verdeeld over de bovengrondse en ondergrondse biomassa. Bovengronds wordt de koolstof in laagstamboomgaarden (kortstondig) vastgelegd in het fruit, de meerjarige houtige organen die de koolstof voor langere tijd opslaan, en de bladeren en scheuten die (na snoeien) bijdragen tot de opbouw van de bodem koolstofvoorraad. Ondergronds is er deels een investering in de groei van meerjarige wortels en anderzijds van fijne wortels die bij vertering ook een toename in bodem koolstof veroorzaken (Panzacchi et al., 2012).

Tabel 2 geeft een overzicht van de gemeten koolstofvoorraad in de bovengrondse houtige biomassa, de ondergrondse houtige biomassa, de biomassa in de grasstrook en de totale biomassa. Voor appelboomgaarden is de staande biomassa (i.e. boomcomponent en grasstrook) in totaliteit goed voor een jaarlijkse koolstofopslag gaande van ongeveer 0.5 ton C per ha per jaar (lage dichtheid, Chisanga et al., 2018) tot 6.05 ton C ha⁻¹ jaar⁻¹ (hoge dichtheid, Panzacchi et al., 2012). Sterke verschillen zijn merkbaar tussen verschillende regio's, klimaattypes en het aantal bomen per ha. Ook de leeftijd van de bomen speelt een grote rol. Vijf jaar oude bomen hadden een koolstofvoorraad die bijna 5 keer kleiner was dan die van 22 jaar oude bomen (Wu et al., 2012). Tot slot kan ook het beheer van de boomstrook dit sterk beïnvloeden. Het aanbrengen van een mulchlaag in de boomstrook in de vorm van verhakseld snoeisel zorgt voor een sterkere groei en kan leiden tot een toename in houtige biomassa van 5 ton C per ha (Leinfelder et al., 2012). Ter vergelijking, voor bossen bedraagt deze vastlegging gemiddeld 1.9 tot 3.3 ton C ha⁻¹ jaar⁻¹, afhankelijk van het bostype. Dit komt overeen met een koolstofvoorraad in de biomassa tussen 62 en 106 ton C ha⁻¹ (Arets, 2018).

Wanneer enkel de toename in houtige staande biomassa wordt beschouwd, zien we een jaarlijkse toename van ongeveer 1.3 ton C ha⁻¹ (Panzacchi et al., 2012; Zanutelli et al., 2015). De bladeren en het snoeisel dragen na compostering bij tot de opbouw van de bodem koolstofvoorraad. Voor bladeren bedraagt de totale koolstofvoorraad ongeveer 1.0 ton C ha⁻¹ jaar⁻¹, waarvan ongeveer 28% terug in de atmosfeer wordt uitgestoten na compostering (Panzacchi et al., 2012; Wu et al., 2012; Zanutelli et al., 2015). Het snoeisel levert een hoeveelheid koolstof van ongeveer 1.5 ton C ha⁻¹ (Dyjakon et al., 2016; Panzacchi et al., 2012; Zanutelli et al., 2015). De biomassa van de grasstrook (boven- en ondergronds) draagt minder bij tot de totale koolstofopslag in biomassa, i.e. ongeveer 12% (Midwood et al., 2020; Panzacchi et al., 2012; Zanutelli et al., 2015).

Tabel 2: Koolstofopslag (gem. $\pm$ stdev. in ton C ha⁻¹) in bovengrondse houtige biomassa (C_{boom}), ondergrondse houtige biomassa (C_{wortel}), biomassa in de grasstrook (C_{gras}) en de totale biomassa (C_{biomassa TOT}).

Studie	Details boomgaard	C _{boom} opslag (ton C ha ⁻¹)	C _{wortel} opslag (ton C ha ⁻¹)	C _{gras} opslag (ton C ha ⁻¹)	C _{biomassa TOT} (ton C ha ⁻¹)	Opmerkingen
Chisanga et al., 2018 (Indië)	Appelboomgaard (25j, 185 bomen ha ⁻¹)				12.49	
Leinfelder et al., 2012 (VSA)	Appelboomgaard (17j, 600 bomen ha ⁻¹)	14.133		0.574		Kale boomstrook
		14.598		0.574		Gras in boomstrook
		19.319		0.574		Mulch in boomstrook
Winzer et al. 2017(Duitsland)	Conference (5-7j, 2380 bomen ha ⁻¹)	1.92				4.0 ton DS ha ⁻¹
	Perenboomgaard (30-40j, 2050 bomen ha ⁻¹)	16.1				33.6 ton DS ha ⁻¹
Panzacchi et al., 2012 (Italië)	Appelboomgaard (10j, 2632 bomen ha ⁻¹)	2.86 $\pm$ 0.24	2.73 $\pm$ 0.20	0.42 $\pm$ 0.03	6.05 $\pm$ 0.32	
Scandellari et al., 2016 (Italië)		per jaar	per jaar	per jaar	per jaar	
Zanotelli et al., 2013, 2015 (Italië)	Appelboomgaard (9j, 3300 bomen ha ⁻¹)	3.09 $\pm$ 0.77	1.05 $\pm$ 0.23	0.52 $\pm$ 0.06	4.66 $\pm$ 0.81	
		per jaar	per jaar	per jaar	per jaar	

1.2.2 Gedetailleerde weergave van methodiek en resultaten per studie

Chisanga et al. (2018) maten zowel de bovengrondse houtige biomassa, de biomassa van de grasstrook en de ondergrondse houtige biomassa in een appelboomgaard. Voor bepaling van de bovengrondse houtige biomassa werden stamvolumevergelijkingen gebruikt op basis van de diameter op borsthoogte (DBH) en de boomhoogte. Aanvullend werd de biomassa van de takken (B) bepaald met behulp van volgende vergelijking:

$$B = 1.60Dsh - 4.00$$

Waarbij Dsh de diameter aan de basis van de takken aanduidt (Chidumayo, 1990). Biomassa van de bladeren werd bepaald door alle bladeren onder de boom te verzamelen en te drogen. De ondergrondse houtige biomassa werd bepaald met behulp van de vergelijking van Cairns et al. (1997) voor gematigde bossen (AB = bovengrondse biomassa, RB = wortel biomassa):

$$RB = e^{(-1.3267 + 0.8877 \times \ln(AB) + 0.1045 \times \ln(\text{Leeftijd}))}$$

Dit werd vermenigvuldigd met een factor 0.5 om het koolstofgehalte te bepalen. Om de biomassa van de grasstrook te bepalen, werd deze gemaaid en gedroogd (1m x 1m) en werd eveneens een factor 0.5 gebruikt om het koolstofgehalte te bepalen. De ondergrondse biomassa in de grasstrook werd bepaald aan de hand van een wortel/scheut ratio gelijk aan 4.224 zoals beschreven door Mokany et al. (2006). In totaal bedroeg de koolstofvoorraad in de biomassa 12.49 ton C ha⁻¹.

Leinfelder et al. (2012) berekenden de houtige biomassa in een appelboomgaard op basis van allometrische vergelijkingen van Harris et al. (1973) voor bovengrondse biomassa en de vergelijking van Cairns et al. (1997) voor de ondergrondse biomassa. Een factor van 0.45 werd gebruikt om de biomassa om te zetten naar koolstofgehalte. Voor de kruidachtige vegetatie, gras en mulch in de boomstrook werd het koolstofgehalte bepaald via Dumas verbranding. De totale koolstofopslag in houtige biomassa was significant groter bij toepassing van mulch, i.e. 19.32 ton C ha⁻¹. De aanwezigheid van mulch was bovendien goed voor nog een extra 6.38 ton C ha⁻¹.

Winzer et al. (2017) bestudeerden een selectie boomgaarden (appel, peer en pruim) waarbij de staande biomassa bepaald werd door weging bij oogst van de bomen. In perenboomgaarden van Conference (5 tot 7 jaar oud) en gemengde samenstelling (30 tot 40 jaar oud) werden respectievelijk 4.0 en 33.6 ton biomassa genoteerd ha⁻¹. Voor herrekening naar koolstofstock zoals weergegeven in Tabel 2 werd een koolstofpercentage in het hout gelijk aan 48% verondersteld. Voornoemde biomassahoeveelheden vertegenwoordigen aldus een koolstofstock van 1.92 en 16.1 ton ha⁻¹, respectievelijk.

Panzacchi et al. (2012) bepaalden de koolstofvoorraad in een appelboomgaard in de houtige biomassa en al zijn onderdelen. Het volume van de stam en takken werd benaderd door het volume van afgeknotte kegels (stam en dikke takken) en kegels (dunne scheuten en einde van takken) te bepalen. Dit volume werd omgezet naar droge stof met behulp van allometrische vergelijkingen die werden bepaald via exacte gewichtsmetingen van gevelde bomen. De koolstofconcentratie van elk orgaan werd bepaald met een elementanalysator. De ondergrondse biomassa werd benaderd door allometrische vergelijkingen in functie van de diameter ter hoogte van het entpunt, bepaald via uitgraving van de wortels van enkele bomen. De bovengrondse biomassa was goed voor 2.86 ± 0.24 ton C opslag $\text{ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$. Hiervan was 0.88 ton C afkomstig van bladproductie en 1.98 ton C van een toename in bovengrondse houtige biomassa. $2.73 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ werd opgeslagen in de ondergrondse biomassa en $1.03 \pm 0.06 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ in de grasstrook (Scandellari et al., 2016).

Zanotelli et al. (2015) berekenden de totale koolstofbalans van een appelboomgaard in Italië. Voor het bepalen van het koolstofgehalte van de biomassa werden allometrische vergelijkingen opgesteld op basis van gevelde bomen:

$$DWhoutige\ biomassa\ (boven- en\ ondergronds) = 0.0384 * d^{6.2470}$$

Waarbij d = diameter op 10 cm boven het entpunt. Dit werd gedurende 4 opeenvolgende jaren gemeten om de jaarlijkse toename te bepalen. Het koolstofgehalte werd bepaald voor elk orgaan met een elementanalysator. Een jaarlijkse toename van 1.96 ± 0.62 en $1.05 \pm 0.23 \text{ ton C ha}^{-1}$ werd vastgesteld voor de boven- en ondergrondse biomassa, respectievelijk. Wanneer ook de biomassa van de bladeren en de grasstrook werd meegerekend, kwam dit op een totaal van $4.66 \pm 0.81 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$. Wanneer de heterotrofe respiratie in rekening wordt gebracht, zou de jaarlijkse toename in koolstof slechts $0.69 \pm 0.52 \text{ ton C per ha}$ zijn.

1.3 Globale koolstofopslag

Exacte cijfers omtrent de totale koolstofopslag in (laagstam)boomgaarden in de literatuur zijn niet steeds onderling vergelijkbaar aangezien de perceelseigenschappen, omgevingscondities, gebruikte methodieken en berekeningswijzen sterk kunnen verschillen. Sommige studies includeren bijvoorbeeld de staande biomassa in de grasstrook (Panzacchi et al., 2012), anderen nemen ook heterotrofe bodemrespiratie, koolstofmineralisatie als gevolg van irrigatie en externe input van meststoffen mee in hun berekeningen (Wu et al., 2012). In absolute waarde is de koolstofvoorraad in de bodem aanzienlijk groter dan die in de staande biomassa, zeker wanneer men tot 90 cm diepte in rekening brengt (Chisanga et al., 2018; Gupta en Sharma, 2011; Leinfelder et al., 2012; Zanotelli et al., 2013). Wanneer de bodem koolstofvoorraad berekend wordt op basis van de bovenste 30 cm, is er een bodem:biomassa verhouding van ongeveer 2:1 tot 3:1 (Gupta en Sharma, 2011; Leinfelder et al., 2012), terwijl deze verhouding 10:1 tot 12:1 bedraagt wanneer ook de diepere lagen in rekening gebracht worden (Chisanga et al., 2018; Zanotelli et al., 2013). De koolstofaccumulatiesnelheid, daarentegen, is doorgaans wel hoger voor de staande biomassa dan voor de bodem, wat betekent dat er jaarlijks een grotere toename is in koolstof in de houtige biomassa dan in bodem koolstof (Panzacchi et al., 2012).

Door Demestihis et al. (2017) wordt gesteld dat fruitboomgaarden, gaande van perzik en appel tot olijven, in het algemeen 2.4 tot 12.5 ton C ha⁻¹ jaar⁻¹ kunnen opslaan. Op basis van de hierboven vermelde studies varieert de jaarlijkse vastlegging in de bodem van appel- en perenboomgaarden in Europa tussen de 0.24 en 1.44 ton ha⁻¹ jaar⁻¹ (hoewel o.m. de bestudeerde bodemdieptes varieerden). Vastlegging in de biomassa varieert tussen 0.32 en 6.05 ton ha⁻¹ jaar⁻¹. Dit ligt in dezelfde grootteorde als het opslagpotentieel van bossen en andere houtige landschapselementen en is beduidend hoger dan het potentieel van conventioneel akkerland (van Reuler et al., 2020). Zo beschrijven Wellbrock et al. (2017) voor bos in Duitsland een toename in bodemkoolstof (0-30cm) van 0.4 ton C ha⁻¹ jaar⁻¹ en een koolstoftoename in de staande biomassa gelijk aan 1.0 ton C ha⁻¹ jaar⁻¹. Mayer et al. (2022) beschrijven voor houtkanten in de gematigde streken een bodemkoolstof sequestratie van 0.32 ± 0.26 ton ha⁻¹ jaar⁻¹, Drexler et al. (2021) vonden (afhankelijk van de rotatieduur) een totale jaarlijkse C sequestratie in biomassa en bodem tussen de 2.1 en 5.2 ton ha⁻¹. Cardinael et al. (2018) geven voor de gematigde streken een stijging in bodemkoolstof van 0.67 ton ha⁻¹ voor houtkanten en 0.21 ton ha⁻¹ voor agrisilviculturele systemen aan (i.e. houtige gewassen in combinatie met akkerbouw). Noteer dat in geval van houtkanten in bovenstaande cijfers enkel de zone onder de eigenlijke houtkant in rekening werd genomen, en dus niet de rest van het perceel waarop/waarlangs deze staat.

2 Bemonstering laagstamboomgaarden in Vlaanderen

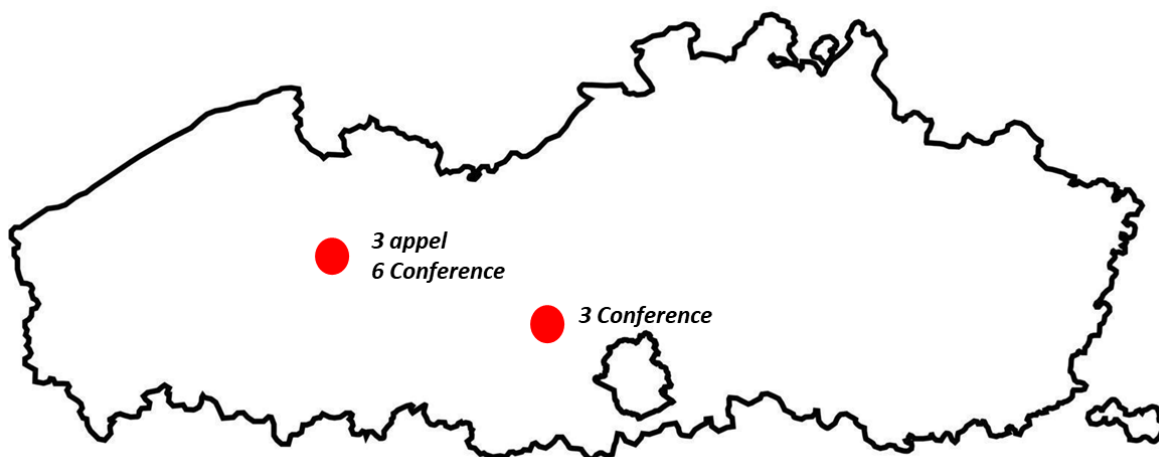
2.1 Materiaal en methoden

2.1.1 Perceelsbeschrijving

In het najaar van 2022 werd een set van 9 percelen geselecteerd, gelegen in intensief beheerde laagstamboomgaarden met Conference (Tabel 3, Figuur 2). Bijkomend werden drie appelboomgaarden opgenomen in de perceelsset. Ter bepaling van de boven- en ondergrondse houtige koolstofstocks werd op deze percelen de staande houtige biomassa opgemeten. In een subset van 8 percelen werd tevens een bodemonderzoek uitgevoerd ter bepaling van de bodemkoolstof. Alle percelen bevonden zich in hun eerste rotatie, i.e. voordat de momenteel aanwezige bomen geplant werden, werd op de percelen aan akkerbouw gedaan of lagen ze onder grasland. Het plantjaar van de boomgaarden varieerde tussen de proefpercelen om potentiële leeftijdsafhankelijke effecten te detecteren (space for time). Negen percelen waren gelegen in de regio Deinze, 3 percelen bevonden zich in Asse. Het aanwezige bodemtype varieerde van lemig zand tot leem.

Tabel 3: Leeftijd, bodemtype en boomedensiteit van de bemonsterde percelen.

Boomsoort	Perceelscode	Leeftijd	Bodemtype	boomedensiteit
Appel	A1	9	Lichte zandleem	3000
	A2	13	Lichte leem	3000
	A3	25	Zandleem	2300
Peer (Conference)	P1	18	Lichte leem	3000
	P2	20	Lemig zand	1900
	P3	29	Lemig zand	2300
	P4	29	Leem	1900
	P5	33	Leem	1900
	P6	42	Leem	1675
	P7	55	Zandleem	2000
	P8	60	Lichte leem	1400
	P9	70	Zandleem	1400



Figuur 2: Locatie van de bemonsterde percelen.

2.1.2 Protocol bemonstering bodemkoolstof

Zowel de grasstrook als de boomstrook werden gedurende de winter op drie dieptes bemonsterd, i.e. 0-30 cm, 30-60 cm en 60-90 cm. Deze dieptes werden bepaald op basis van de gangbare bemonsteringsmethoden in Vlaanderen en de literatuur en de beschikbaarheid van analyses uit het verleden. Voor het bepalen van de bodemkoolstofvoorraad werden met behulp van een Gator met motorische grondboor staalnames uitgevoerd ter hoogte van 10 meetpunten in elk perceel. Daarbij werd telkens een staalname in de grasstrook en een staalname in de boomstrook gedaan (Figuur 3). De staalname in de grasstrook vond plaats op $1/4^e$ afstand van de totale breedte van de strook, aangezien hier een gemiddelde bodemkoolstofvoorraad voor deze strook verwacht werd. In de boomstrook werden stalen genomen op ongeveer 40 cm afstand van de stam van de bomen. Per diepte en strook werd uit de 10 verzamelde stalen één mengstaal bereid om een globaal overzicht van de bodemkoolstofvoorraad in de gehele boomgaard te verkrijgen. Dit resulteerde in een totaal aantal stalen van 6 per perceel. Na staalname werden alle stalen bewaard op 4°C waarna het koolstofgehalte (OC, TC, IC) per 100 gram (g) droge stof werd bepaald (ISO 10694; BOC; BAM deel 1/10).



Figuur 3: Links: bemonsteringsplan voor het bepalen van de bodemkoolstofvoorraad. Rood = staalname in grasstrook, paars = staalname in boomstrook. Bemonsterde dieptes in cm: (0-30) (30-60) & (60-90). Rechts: uitvoering bodemstaalname met Gator.

Bijkomend werden per perceel drie locaties manueel bemonsterd voor het bepalen van de bulkdensiteit (Figuur 4). Op elke locatie werden opnieuw zowel de grasstrook als de boomstrook bemonsterd op de eerder vernoemde dieptes. Dit werd gedaan met behulp van Kopecky ringen (100 cm³). Na staalname werd de inhoud van de ringen gedroogd op 105°C gedurende 48 uur. De bulkdensiteit werd bepaald als de verhouding van bodem droge stof (g) over het volume (cm³). Door het gemiddelde van de drie bemonsterde locaties te nemen, werd voor elke bodemlaag een algemene waarde voor de bulkdensiteit afgeleid per perceel. Vervolgens werd de totale bodemkoolstofvoorraad van de percelen per bodemlaag bepaald door het koolstofgehalte te vermenigvuldigen met de dikte van de bodemlaag en de bulkdensiteit.



Figuur 4: Bodemstaalname voor het bepalen van de bulkdensiteit. Bemonsterde dieptes in cm: (0-30) (30-60) & (60-90).

2.1.3 Protocol bepaling koolstofvoorraad in houtige biomassa

Voor het bepalen van de koolstofvoorraad in de houtige staande biomassa werd onderscheid gemaakt tussen het bovengrondse boomgedeelte en de boomwortels. Voor het bepalen van de bovengrondse staande biomassa werden per perceel telkens drie plots met vier bomen geselecteerd waarop volumemetingen werden uitgevoerd (Figuur 5). De stam en takken van de geselecteerde bomen werden onverdeeld in delen van bij benadering gelijke diameter. Bij elk van deze onderdelen werd de lengte alsook de diameter bepaald (deze laatste in twee richtingen loodrecht op elkaar). De som van deze onderdelen leidt tot een totale volumeschatting per boom. Op basis van het gemiddelde volume van de 12 opgemeten bomen werd het volume van de doorsnee boom per perceel afgeleid.



Figuur 5: Links: bemonsteringsplan voor het bepalen van de voorraad houtige biomassa. Rechts: opmeten van individuele boom.

De aanwezige biomassa werd vervolgens afgeleid op basis van richtwaarden voor houtdensiteit zoals beschreven in de *Tree Functional Attributes and Ecological Database*:

$$Malus\ spp: 0.61\ ton\ m^{-3}$$

$$Pyrus\ communis: 0.6612\ ton\ m^{-3}$$

Gelijkaardige densiteiten worden vermeld door o.a. Passialis & Grigoriou (1999), McPherson et al. (2016) en WUR (2023).

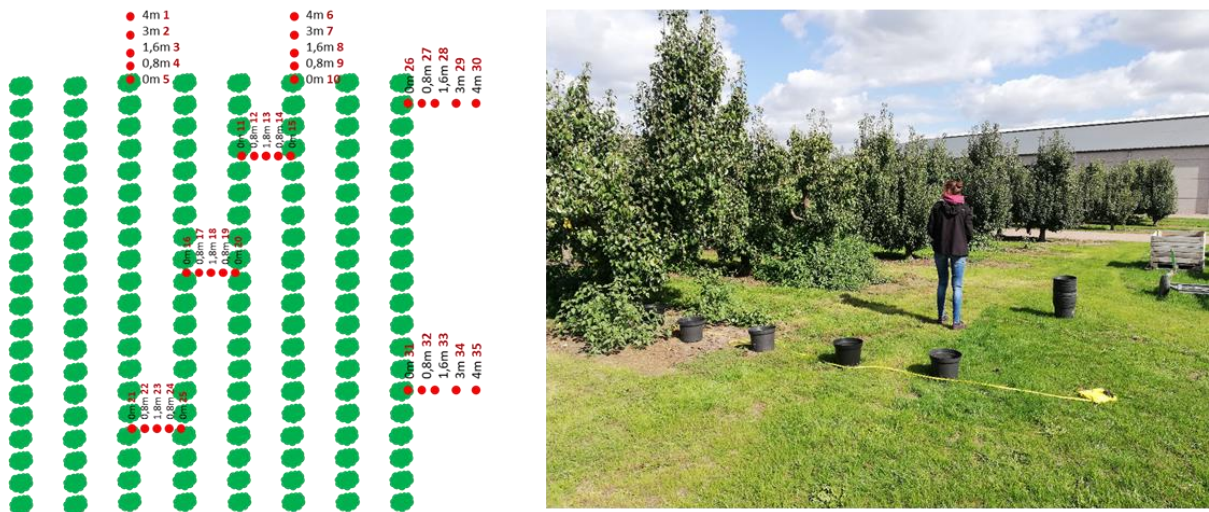
De biomassa van de boomwortels werd geschat op basis van de vergelijking van Cairns et al. (1997) voor gematigde bossen:

$$WB = e^{(-1.3267 + 0.8877 \times \ln(BB) + 0.1045 \times \ln(Leeftijd))}$$

Tot slot werd de totale koolstofvoorraad in de houtige biomassa bepaald door de biomassa te vermenigvuldigen met het koolstofgehalte van het hout. In de literatuur varieert deze waarde doorgaans tussen 0.46 en 0.50 (Wu et al. (2012), Lamdon & Savige (2003)). Derhalve werd een omrekeningsfactor van 0.48 gebruikt.

2.1.4 Protocol bepaling bladval

Om de input van bladval (en de gerelateerde koolstof) te bepalen werden op een subset van 9 percelen bladvalmetingen uitgevoerd (Figuur 6). Hierbij werden in het najaar gedurende de periode van bladval op verschillende afstanden van de bomenrijen vangemmers geplaatst. Deze werden periodiek geleidigd waarbij de verzamelde bladval gedroogd en gewogen werd. De verzamelde data komen in dit rapport niet aan bod maar zullen in de toekomst gebruikt worden om de koolstofrekening CARAT (*Carbon Agroforestry Tool*, ontwikkeld i.s.m. de Bodemkundige Dienst van België en de Universiteit Gent, beschikbaar op www.agroforestryvlaanderen.be/nl/agroforestryplanner) te onderbouwen voor laagstamboomgaarden.

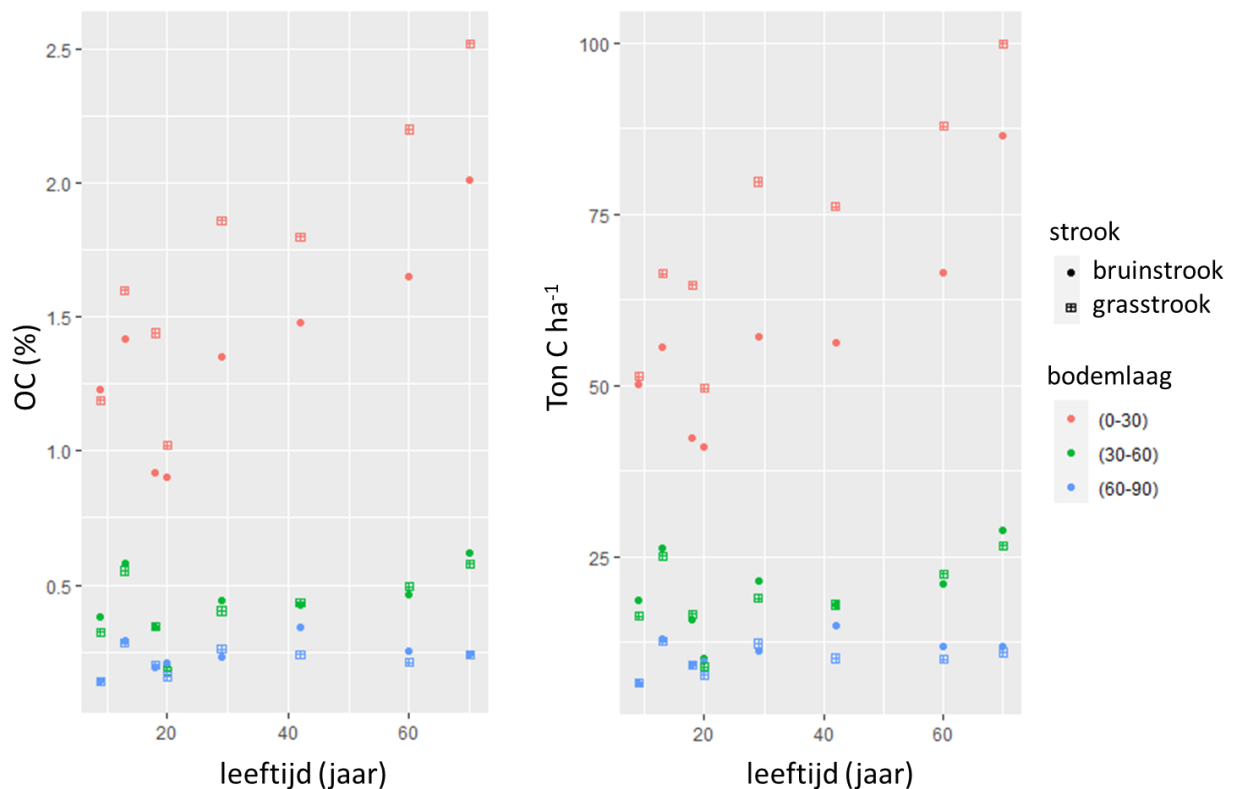


Figuur 6: Links: bemonsteringsplan voor het bepalen van de bladvalhoeveelheid. Rechts: bladvalmonitoring op terrein.

3 Resultaten en bespreking

3.1 Bodemkoolstofvoorraad

In de bovenste bodemlaag (0-30) bleek het koolstofpercentage en de bodemkoolstofstock significant afhankelijk te zijn van de leeftijd van de bomen alsook hoger te zijn in de grasstroken dan in de bruinstroken. In de diepere lagen (30-60 en 60-90 cm) bleek noch de leeftijd van de boomgaard, noch het type strook een significante invloed uit te oefenen op het bodemkoolstofgehalte. De waargenomen koolstofconcentraties en de aanwezige stocks bleken ook in absolute waarde aanzienlijk lager te liggen dan deze in de bovenste bodemlaag (Figuur 7, Tabel 4). De hogere bodemkoolstofgehaltes in de 0-30 bodemlaag in de grasstrook versus de bruinstrook zijn niet onverwacht en zoals hoger vermeld wellicht te wijten aan het meer permanente karakter van deze strook en de bedekking van de bodem alsook de extra koolstofinput door constante aanvoer van organisch materiaal onder de vorm van wortels, wortellexudaten en grasresten door de graswortels.



Figuur 7: Waargenomen bodemkoolstofconcentraties (%) -en stocks (ton ha⁻¹) voor de bemonsterde bodemdieptes in de gras- en bruinstroken.

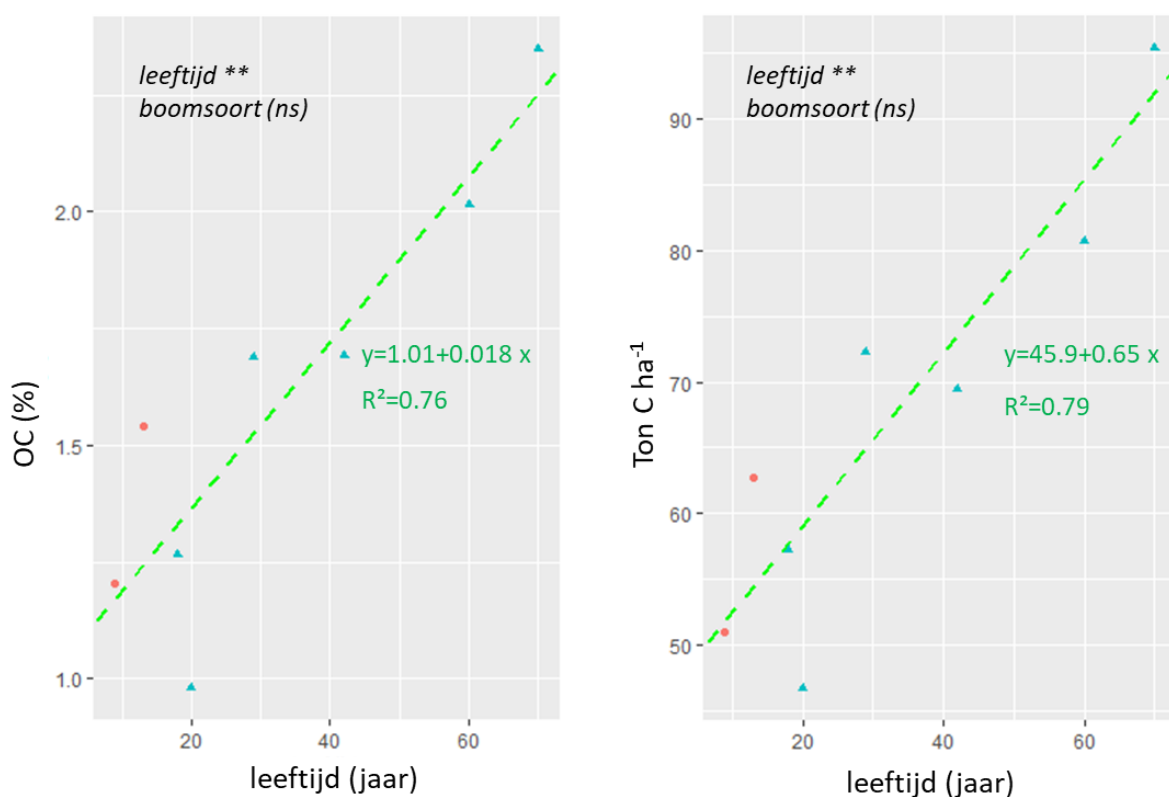
Tabel 4: Gemiddelde $\pm$ stdev van de gemeten bulkdensiteit, bodemkoolstofconcentraties (%) -en stocks (ton ha⁻¹) voor de bemonsterde bodemdieptes in de gras- en bruinstroken.

		Bodemlaag (cm)		
		0-30	30-60	60-90
BD	<i>Grasstrook</i>	1.43 $\pm$ 0.10	1.56 $\pm$ 0.09	1.54 $\pm$ 0.07
	<i>Bruinstrook</i>	1.40 $\pm$ 0.10	1.56 $\pm$ 0.08	1.56 $\pm$ 0.06
OC%	<i>Grasstrook</i>	1.70 $\pm$ 0.50	0.42 $\pm$ 0.14	0.23 $\pm$ 0.06
	<i>Bruinstrook</i>	1.37 $\pm$ 0.37	0.45 $\pm$ 0.14	0.29 $\pm$ 0.19
C stock	<i>Grasstrook</i>	71.93 $\pm$ 17.4	19.15 $\pm$ 5.6	10.01 $\pm$ 2.1
	<i>Bruinstrook</i>	56.94 $\pm$ 14.5	20.08 $\pm$ 5.9	11.11 $\pm$ 2.6

Analyse van het leeftijdseffect in de 0-30 bodemlaag leverde onderstaand verband op. Een significant effect van boomsoort werd niet waargenomen.

$$OC \% = 1.014 + 0.018 \times \text{leeftijd in jaar}$$

$$\text{Ton OC ha}^{-1} = 45.9 + 0.65 \times \text{leeftijd in jaar}$$



Figuur 8: Evolutie in bodemkoolstofconcentraties (%) -en stocks (ton ha⁻¹) in functie van de boomleeftijd (jaar) voor de bodemdiepte 0-30 cm. “boomsoort”: rode bol = appel, blauwe driehoek = peer. Significantie: ns $P > 0.1$, • $P < 0.1$, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ en * $P < 0.001$.**

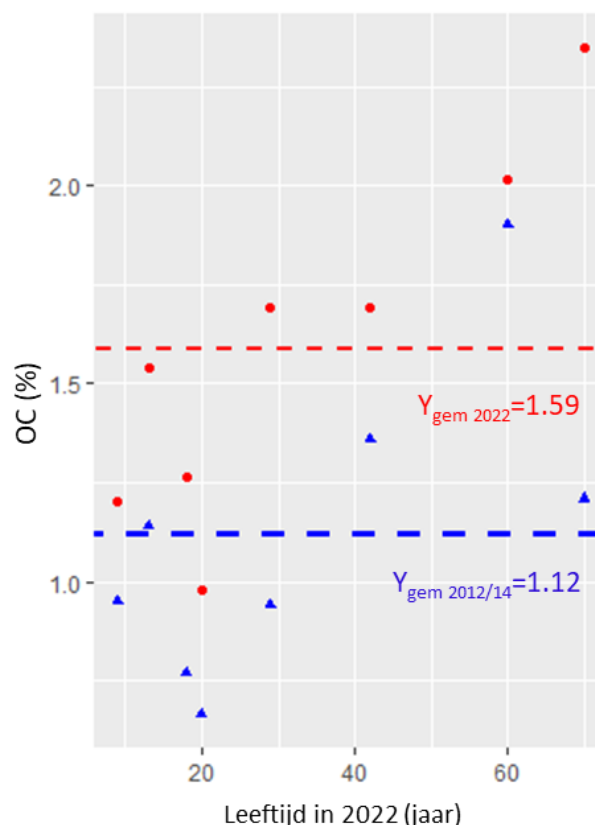
Het % OC stijgt 0.018 eenheden per jaar, de hieraan gerelateerde stijging van de bodemkoolstofstock komt overeen met $0.65 \text{ ton ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ (Figuur 8). Deze waarde is gelijkaardig aan de stijging van $0.87 \text{ ton ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ genoteerd door Panzacchi et al. (2012) in een intensief beheerde boomgaard met gelijkaardige plantdensiteit. Deze waarden liggen voorts in lijn met de stijgingen in bodemkoolstof die doorgaans genoteerd worden in en nabij andere houtige elementen. In een meta-analyse door Mayer et al. (2022) waarbij zowel silviculturele alley cropping systemen (i.e. bomen in rijen aangeplant in akkerbouwpercelen) als houtkanten werden bestudeerd in de gematigde streken werden in de 0-40 cm bodemlaag stijgingen genoteerd in bodemkoolstof van 0.49 en $0.60 \text{ ton ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$, respectievelijk (Figuur 9). Wellbrock et al. (2017) vermelden een bodemkoolstofstock in de bovenste bodemlaag (0-30) van bos in de gematigde streken gelijk aan $61.8 \pm 3.7 \text{ ton ha}^{-1}$ en een sequestratiesnelheid van $0.4 \text{ ton ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ in deze bodemlaag.



Figuur 9: Type-voorbeelden van silvoarable alley cropping (boven) en houtkanten (onder) in Vlaanderen (Bron: P. Pardon, S. Van Den berge).

In een volgende stap werden de in 2022 gemeten bodemkoolstofconcentraties vergeleken met de geobserveerde percentages in eerdere metingen (uitgevoerd in 2012 en 2014 in hoofdzakelijk de 0-23 bodemlaag door BDB). Het gemiddelde koolstofpercentage over de percelen heen bedroeg in 2012/14 1.12%. In 2022 was deze waarde gestegen tot 1.59% (Figuur 10). Dit vertegenwoordigt een substantiële stijging van ca. $2.1 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$. Zoals hierboven vermeld alsook beschreven in de

literatuur wordt doorgaans een lager bodemkoolstofgehalte gevonden in diepere bodemlagen. Gezien de beperktere staalnamediepte in 2012/14 zou het effectieve verschil tussen beide meetjaren in principe aldus groter kunnen zijn. Door de combinatie van koolstofverhogende maatregelen in de beproefde laagstamboomgaarden (aanwezigheid houtige vegetatie, grasland en gebruik van stalmest) kan inderdaad een aanzienlijke stijging in bodemkoolstof in deze percelen verwacht worden. Zo werden door Tits et al. (2012) over een periode van 14 jaar gelijkaardige stijgingen in koolstofpercentage genoteerd bij jaarlijkse toepassing van plantgebaseerde compost als bemesting en koolstofverhogende maatregel. Op akkerbouwpercelen in Vlaanderen waar gedurende 10 jaar plantgebaseerde compost werd toegediend, werden stijgingen van 1% naar 1.5% C waargenomen (D'Hose T., pers. comm.). Toch dient in onze resultaten het effect van een beperkte steekproefgrootte en het potentiële effect van een verschillende staalname- en analysemethodiek tussen de meetjaren in acht genomen te worden en is voorzichtigheid geboden bij extrapolatie van deze resultaten. Daarnaast is ook het beginpercentage aan bodemkoolstof in 2012/2014 relatief laag wat tot een efficiënte koolstofopbouw geleid kan hebben, bij een hoger startpercentage kan deze stijging beperkter uitvallen.



Figuur 10: Verschil in bodemkoolstofpercentage tussen 2022 (rode bollen) en 2012/14 (blauwe driehoeken).

3.2 Koolstofvoorraad in (houtige) biomassa

De gemiddelde koolstofvoorraad in de bovengrondse houtige biomassa op de percelen bedroeg 17.12 ton ha⁻¹. Indien ook het wortelstelsel meegeteld wordt, stijgt deze waarde tot 21.49 ton ha⁻¹. Uitgaande van een gemiddelde stock van 90 à 100 ton bodemkoolstof (Tabel 4) wordt in deze percelen dus een aanzienlijke toename op de koolstofstock gerealiseerd door de aanwezigheid van houtige gewassen. Er werd geen significant effect van boomsoort waargenomen. De koolstofstock in de houtvoorraad bleek, zoals verwacht, wel sterk afhankelijk van de boomleeftijd. Een lineair model leverde het volgende verband op:

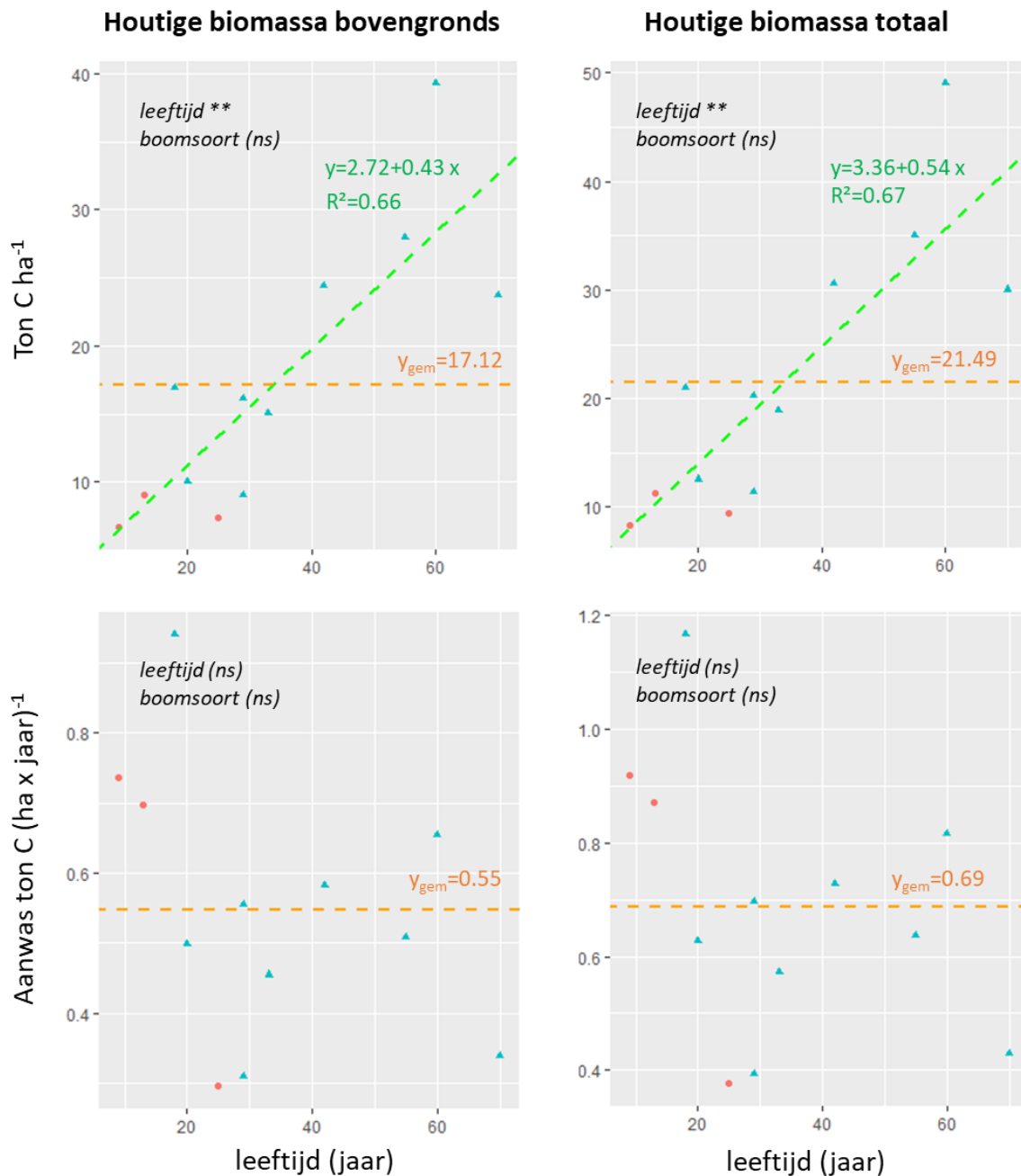
$$\text{Ton } C_{\text{excl. wortels}} \text{ ha}^{-1} = 2.7 + 0.43 \times \text{leeftijd in jaar}$$

$$\text{Ton } C_{\text{incl. wortels}} \text{ ha}^{-1} = 3.4 + 0.54 \times \text{leeftijd in jaar}$$

Er wordt met andere woorden een jaarlijkse stijging in koolstofvoorraad genoteerd van 0.43 en 0.54 ton ha⁻¹, respectievelijk zonder en met in acht name van het wortelstelsel. Wanneer anderzijds voor elk perceel afzonderlijk de gemiddelde jaarlijkse sequestratie berekend wordt, dan blijkt deze relatief constant te zijn en niet significant afhankelijk van de leeftijd. De biomassa-aanwas in de boomgaarden is met andere woorden vrij constant doorheen de tijd. Deze gemiddelde jaarlijkse koolstofsequestratie blijkt over de percelen heen 0.55 en 0.69 ton ha⁻¹ te bedragen (exclusief en inclusief wortelstelsel, respectievelijk).

De gerealiseerde grootteordes van biomassa-aanwas en daaraan gelinkte koolstofvastlegging zijn eerder laag in vergelijking met de waardes beschreven in de literatuur (Tabel 2). Ook wanneer vergeleken wordt met andere houtige beplantingen in het landbouwlandschap dan blijken de in laagstamboomgaarden gerealiseerde sequestratiesnelheden doorgaans lager te zijn. Wellbrock et al. (2017) vermelden voor bossen in Duitsland een sequestratiesnelheid in de houtige biomassa gelijk aan ca. 1.0 ton C ha⁻¹ jaar⁻¹ en een totale koolstofstock (incl. wortelstelsels) van 103 ton C ha⁻¹. In houtkanten die met een vergelijkbare omlooptijd van 50 jaar beheerd worden als perenboomgaarden werd een sequestratiesnelheid van 1.7 ton C ha⁻¹ jaar⁻¹ en een totale C-stock in houtige biomassa van 92 ton C ha⁻¹ aangegeven door Drexler et al. 2021. Een belangrijke factor hierbij is de afwezigheid van tussentijds beheer, daar waar in laagstamboomgaarden zeer frequent gesnoeid wordt. Het afkomstige snoeihout uit laagstamboomgaarden werd in deze studie buiten beschouwing gelaten. Bij achterlaten ervan op het perceel kan dit door enerzijds het bedekken van de bodem en anderzijds door decompositieprocessen gedeeltelijk bijdragen tot de opbouw van bodemkoolstof. Dit effect werd echter geacht inbegrepen te zijn in de waargenomen evoluties in bodemkoolstofgehalte zoals hoger beschreven. Een gelijkaardige redenering kan gevolgd worden voor het wortelhout. Afhankelijk van de rooiwijze wordt het wortelstelsel geheel of gedeeltelijk verwijderd samen met het staande hout. Het

deel dat in de bodem achterblijft, en doorgaans ingefreesd wordt, zal mettertijd door decompositie enerzijds ten dele opgenomen worden in de bodemkoolstofpool en anderzijds opnieuw uitgestoten worden in de atmosfeer. Dit gedeelte kan bijgevolg niet gesommeerd worden bij de koolstofstock van de staande biomassa, dit om een dubbeltelling dan wel een onterecht veronderstelde duurzame aanwending te vermijden.



Figuur 11: Boven: evolutie in koolstofstock (ton C ha⁻¹) in functie van de boomleeftijd (jaar). Onder: jaarlijkse toename in koolstofstock (ton C ha⁻¹) in functie van de boomleeftijd (jaar). Links: op basis van de bovengrondse houtige biomassa, rechts: op basis van de totale houtige biomassa (i.e. bovengrondse houtige biomassa + wortelstelsel). “boomsoort”: rode bollen = appel, blauwe driehoeken = peer. Significantie: ns P > 0.1, • P < 0.1, * P < 0.05, ** P < 0.01 en *** P < 0.001.

3.3 Totale koolstofopbouw

De gecombineerde jaarlijkse opbouw in laagstamboomgaarden op basis van bovenstaande metingen bedraagt per hectare ca. 0.43 tot 0.69 ton C in biomassa en 0.65 tot ca. 2 ton C in de bodem. Dit komt overeen met 1.6 tot 2.5 en 2.4 tot 7.3 ton CO₂. Boomgaarden hebben dus het potentieel om enerzijds jaarlijks een zekere hoeveelheid koolstof (of CO₂) te capteren en anderzijds een relatief grote koolstofstock vast te houden in vergelijking met andere landgebruiken zonder houtige elementen of koolstofverhogende maatregelen. Het verhogen van het percentage koolstof in de bodem biedt hierbij niet alleen voordelen voor klimaatmitigatie maar kan verder leiden tot positieve effecten op de bodemvruchtbaarheid, nutriëntenbeschikbaarheid, de waterretentiecapaciteit, de bodemaggregatie - en structuur, de microbiële biomassa in de bodem en de opbrengst (De Feudis et al., 2022). Anderzijds is het zo dat de evolutie in bodemkoolstofconcentratie op een gegeven moment, na één of meerdere boomrotaties, een evenwicht bereikt. Hierna beperkt de jaarlijkse netto sequestratie zich tot de koolstof die wordt opgeslagen in de houtige biomassa. Door de telers in de sectorvakgroep wordt aangegeven dat veel perenboomgaarden leiden aan bodemmoeheid waardoor deze aan het einde van de rotatie verplaatst worden naar nieuwe percelen. In dat geval kan verondersteld worden dat ook de bovengenoemde sequestratie in de bodem opnieuw zal plaatsvinden. Idealiter worden dan op de achtergelaten percelen wel maatregelen toegepast om de gerealiseerde stijging in bodemkoolstof daar ook effectief te behouden.

Aan het einde van de productieve levensduur van de bomen worden deze gerooid. De aanwending van de gerooide biomassa zal uiteindelijk in sterke mate de termijn bepalen gedurende dewelke de koolstof vastgelegd wordt. Gebruik van hout kent diverse toepassingen waarbij de koolstof kortstondig (vb. mandarijn kistjes) of over langere termijn (vb. constructiehout) wordt vastgelegd. Actueel wordt deze houtstroom vaak aangewend voor verbranding of biogas productie. Analoog aan houtteelt in bijvoorbeeld bosomstandigheden kan dit beschouwd worden als hernieuwbare energiebron en wordt verdere CO₂-uitstoot door gebruik van fossiele brandstoffen als alternatief vermeden. In geval de bomen verhakseld worden en op het veld achter gelaten en desgevallend ingewerkt, wordt de verdere vastlegging beperkt tot enkel een eventuele stijging van het bodemkoolstofgehalte.

4 Besluit

Op basis van de beschikbare literatuur blijkt dat (laagstam)boomgaarden het potentieel bezitten om een relatief hoge hoeveelheid koolstof vast te leggen in vergelijking met andere landgebruiken waar geen houtige elementen aanwezig zijn. Dit potentieel werd bevestigd door de uitgevoerde metingen in de set proefpercelen. Significante verschillen tussen appel- en perenboomgaarden werden niet waargenomen op basis van deze metingen. Enerzijds bleek in de bodem een jaarlijkse toename van 0.65 ton koolstof per hectare plaats te vinden. Een aanzienlijk grotere stijging werd waargenomen indien historische bodemanalyses op de proefpercelen in rekening werden genomen, dit laatste cijfer dient echter verder geverifieerd op basis van een grotere perceelsset. De gerealiseerde toename in bodemkoolstof werd voornamelijk waargenomen in de bovenste horizont (0-30cm) en kan verklaard worden door de extra input van organisch materiaal onder vorm van blad- en takval of snoeisel, afscheiding van wortellexudaten en turnover van fijne wortels, het permanente karakter van de grasmat alsook het gerichte beheer in de bestudeerde percelen met onder meer toepassing van stalmest. Anderzijds werd in de houtcomponent een jaarlijkse stijging in koolstofstock tot 0.54 ton hectare waargenomen, wat voor de set proefpercelen gemiddeld overeenkomt met een aanwezige additionele koolstofstock van 21.5 ton hectare. Hierbij dient gestreefd te worden naar enerzijds de duurzame aanwending van de gerealiseerde houtstroom en anderzijds het behoud van de in de bodem vastgelegde koolstofstock.

5 Referenties

- Arets, E. J. M. M. (2018). *Klimaatcijfers voor natuur: Cijfers voor koolstofopslag en -vastlegging in Nederlandse natuur*. Wageningen Environmental Research WUR, 19p.
- Bargali, S. S., Padalia, K., en Bargali, K. (2019). "Effects of tree fostering on soil health and microbial biomass under different land use systems in the Central Himalayas." *Land Degradation & Development*, 30(16), 1984–1998.
- Cairns, M. A., Brown, S., Helmer, E. H., en Baumgardner, G. A. (1997). "Root biomass allocation in the world's upland forests." *Oecologia*, 111(1), 1–11.
- Cardinael, R., Umulisa, V., Toudert, A., Olivier, A., Bockel, L., and Bernoux, M. (2018). "Revisiting IPCC Tier 1 coefficients for soil organic and biomass carbon storage in agroforestry systems" *Environ. Res. Lett.*, 13, 124020, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab5f>
- Ceschia, E., Béziat, P., Dejoux, J. F., Aubinet, M., Bernhofer, Ch., Bodson, B., Buchmann, N., Carrara, A., Cellier, P., Di Tommasi, P., Elbers, J. A., Eugster, W., Grünwald, T., Jacobs, C. M. J., Jans, W. W. P., Jones, M., Kutsch, W., Lanigan, G., Magliulo, E., Marloie, O., Moors, E. J., Moureaux, C., Olioso, A., Osborne, B., Sanz, M. J., Saunders, M., Smith, P., Soegaard, H., en Wattenbach, M. (2010). "Management effects on net ecosystem carbon and GHG budgets at European crop sites." *Agriculture, ecosystems & environment*, 139(3), 363–383.
- Chidumayo, E. (1990). "Above-ground woody biomass structure and productivity in a Zambezan woodland." *Forest Ecology and Management*, 36, 33–46.
- Chisanga, K., Bhardwaj, D. R., Pala, N. A., en Thakur, C. L. (2018). "Biomass production and carbon stock inventory of high-altitude dry temperate land use systems in Northwestern Himalaya." *Ecological Processes*, 7(1), 22.
- Ciavatta, C., Gioacchini, P., en Montecchio, D. (2008). "Can Organic Farming Contribute to Carbon Sequestration? A Survey in a Pear Orchard in Emilia-Romagna Region, Italy." Poster at: Cultivating the Future Based on Science: 2nd Conference of the International Society of Organic Agriculture Research ISOFAR, Modena, Italy.
- Dad, J. M., Dand, S. A., en Pala, N. A. (2021). "The effect of bi-culture cover crops on soil quality, carbon sequestration, and growth characteristics in apple orchards of Northwestern Himalayas." *Agroforestry Systems*, 95(8), 1745–1758.
- De Feudis, M., Selmi, C., Falsone, G., Missere, D., Di Bonito, M., en Vittori Antisari, L. (2022). "The importance of incorporating soil in the life cycle assessment procedure to improve the sustainability of agricultural management." *CATENA*, 218, Article 106563.
- Demestihis, C., Plénet, D., Génard, M., Raynal, C., en Lescourret, F. (2017). "Ecosystem services in orchards. A review." *Agronomy for Sustainable Development*, 37(2), 12.
- Drexler, S., Gensior, A. & Don, A. (2021). "Carbon sequestration in hedgerow biomass and soil in the temperate climate zone". *Reg Environ Change* 21, 74. <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01798-8>
- Dyjakon, A., den Boer, J., Bukowski, P., Adamczyk, F., en Frackowiak, P. (2016). "Wooden biomass potential from apple orchards in Poland." *Drewno* 2016, Vol. 59, No. 198. DOI: 10.12841/wood.1644-3985.162.09

- Fuss, S., Lamb, W. F., Callaghan, M. W., Hilaire, J., Creutzig, F., Amann, T., Beringer, T., Garcia, W. de O., Hartmann, J., Khanna, T., Luderer, G., Nemet, G. F., Rogelj, J., Smith, P., Vicente, J. L. V., Wilcox, J., Dominguez, M. del M. Z., en Minx, J. C. (2018). "Negative emissions—Part 2: Costs, potentials and side effects." *Environmental Research Letters*, IOP Publishing, 13(6), Article 063002.
- Gupta, M. K., en Sharma, S. D. (2011). "Sequestered Carbon: Organic Carbon Pool in the Soils under Different Forest Covers and Land Uses in Garhwal Himalayan Region of." *International Journal of Agriculture and Forestry*, Scientific & Academic Publishing, 1(1), 14–20.
- Harris, W. F., Goldstein, R. A., en Henderson, G. S. (1973). "Analysis of forest biomass pools, annual primary production and turnover of biomass for a mixed deciduous forest watershed." *IUFRO biomass studies*, 43–64.
- Janssens, I. A., Freibauer, A., Ciais, P., Smith, P., Nabuurs, G.-J., Folberth, G., Schlamadinger, B., Hutjes, R. W. A., Ceulemans, R., Schulze, E.-D., Valentini, R., en Dolman, A. J. (2003). "Europe's terrestrial biosphere absorbs 7 to 12% of European anthropogenic CO₂ emissions." *Science (New York, N.Y.)*, 300(5625), 1538–1542.
- Lamlom, S.H. & Savidge, R.A. (2003). "A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species" *Biomass and Bioenergy*, 25, 381-388.
- Leinfelder, M. M., Merwin, I., en Brown, M. G. (2012). "Soil Health Indicators, Apple Tree Growth, and Carbon Sequestration Differ among Orchard Groundcover Management Systems." *Acta Horticulturae*, 938, 333–340.
- Mayer, S., Wiesmeier, M., Sakamoto, E., Hübner, R., Cardinael, R., Kühnel, A., & Kögel-Knabner, I. (2022). "Soil organic carbon sequestration in temperate agroforestry systems – A meta-analysis" *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 323, 107689. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107689>
- McPherson et al. (2016) Urban tree database and allometric equations. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-253. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 86 p.
- Midwood, A. J., Hannam, K. D., Forge, T. A., Neilsen, D., Emde, D., en Jones, M. D. (2020). "Importance of drive-row vegetation for soil carbon storage in woody perennial crops: A regional study." *Geoderma*, 377, 114591.
- Mokany, K., Raison, R. J., en Prokushkin, A. S. (2006). "Critical analysis of root : shoot ratios in terrestrial biomes." *Global Change Biology*, 12(1), 84–96.
- Montanaro, G., Tuzio, A. C., Xylogiannis, E., Kolimenakis, A., en Dichio, B. (2017). "Carbon budget in a Mediterranean peach orchard under different management practices." *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Quantification and mitigation of greenhouse gas emissions in Mediterranean cropping systems, 238, 104–113.
- Nelissen, V., Coussement, T., Pardon, P., en Reubens, B. (2018). Effect van agroforestry op organische stof en nutriënten. *Agroforestry Vlaanderen*, Belgium, 25p.
- Panzacchi, P., Tonon, G., Ceccon, C., Scandellari, F., Ventura, M., Zibordi, M., en Tagliavini, M. (2012). "Belowground carbon allocation and net primary and ecosystem productivities in apple trees (*Malus domestica*) as affected by soil water availability." *Plant and Soil*, 360(1), 229–241.
- Passialis, C. N. & Grigoriou A. H. (1999) Technical properties of branch-wood of apple, peach, pear, apricot and cherry fruit trees. *Holz als Roh- und Werkstoff* volume 57, pages 41–44.

- Rajput, B. S., Bhardwaj, D. R., en Pala, N. A. (2015). "Carbon dioxide mitigation potential and carbon density of different land use systems along an altitudinal gradient in north-western Himalayas." *Agroforestry Systems*, 89(3), 525–536.
- van Reuler, H., Schoutsen, M., Cuperus, F., Groot, M., Keur, J., Ravesloot, M., en Schepers, H. (2020). *Nederlandse notenteelt - Kennis en innovatie ten behoeve van de ontwikkeling van notenteelt in Nederland*. Wageningen Research WUR, 92p.
- Scandellari, F., Caruso, G., Liguori, G., Meggio, F., Palese Assunta, M., Zanutelli, D., Celano, G., Gucci, R., Inglese, P., Pitacco, A., en Tagliavini, M. (2016). "A survey of carbon sequestration potential of orchards and vineyards in Italy." *European Journal of Horticultural Science*, 81(2), 106–114.
- Sharma, S., Rana, V. S., Prasad, H., Lakra, J., en Sharma, U. (2021). "Appraisal of Carbon Capture, Storage, and Utilization Through Fruit Crops." *Frontiers in Environmental Science*, 9, Article 700768. DOI: 10.3389/fenvs.2021.700768
- Shi, Z., Li, X., Zhang, L., en Wang, Y. (2015). "Impacts of farmland conversion to apple (*Malus domestica*) orchard on soil organic carbon stocks and enzyme activities in a semiarid loess region." *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 178(3), 440–451.
- Tits M, Elsen A, Bries J, Vandendriessche H. (2014). "Short-term and long-term effects of vegetable, fruit and garden waste compost applications in an arable crop rotation in Flanders". *Plant Soil* 376: 43-59. DOI: 10.1007/s11104-012-1318-0
- Van Goor, W. (2018). "CO2 vastlegging met bomen op een pluimveebedrijf". Wageningen University & Research (WUR), 8p.
- Vicente-Vicente, J. L., García-Ruiz, R., Francaviglia, R., Aguilera, E., en Smith, P. (2016). "Soil carbon sequestration rates under Mediterranean woody crops using recommended management practices: A meta-analysis." *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 235, 204–214.
- Wellbrock, N., Grüneberg, E., Riedel, T., & Polley, H. (2017). "Carbon stocks in tree biomass and soils of German forests". *Lesnický Casopis*, 63(2–3), 105–112.
- Winzer et al. (2017). Biomass from fruit trees for combined energy and food production. *Biomass and Bioenergy*, 107, 279–286.
- Wu, T., Wang, Y., Yu, C., Chiarawipa, R., Zhang, X., Han, Z., en Wu, L. (2012). "Carbon Sequestration by Fruit Trees - Chinese Apple Orchards as an Example." *PLOS ONE*, Public Library of Science, 7(6), e38883.
- WUR (Wageningen University). Tree factsheet *Pyrus communis* L. var. *sativa*. Consulted at 9 March 2023. Available online at: https://www.wur.nl/upload_mm/5/9/2/7a83e9fe-1ff4-4b4d-bf64-950e3bb6a44f_pyrcomf.pdf
- Zanutelli, D., Montagnani, L., Manca, G., Scandellari, F., en Tagliavini, M. (2015). "Net ecosystem carbon balance of an apple orchard." *European Journal of Agronomy*, 63, 97–104.
- Zanutelli, D., Montagnani, L., Manca, G., en Tagliavini, M. (2013). "Net primary productivity, allocation pattern and carbon use efficiency in an apple orchard assessed by integrating eddy covariance, biometric and continuous soil chamber measurements." *Biogeosciences*, Copernicus GmbH, 10(5), 3089–3108.

Zhang, Y., Wang, R., Peng, X., Zhang, Y., Ning, F., Xu, Z., Wang, Q., Dong, Z., Jia, G., Wei, L., en Li, J. (2021). "Changes in soil organic carbon and total nitrogen in apple orchards in different climate regions on the Loess Plateau." CATENA, 197, Article 104989.

Contact

Paul Pardon

Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek

Burgemeester Van Gansberghelaan 109

9820 Merelbeke

paul.pardon@ilvo.vlaanderen.be



Flanders Research Institute for
Agriculture, Fisheries and Food

Aansprakelijkheidsbeperking

Deze publicatie werd door de auteurs met de grootste zorg en zorgvuldigheid voorbereid. Noch de auteurs, noch enige andere personen die betrokken werden bij de creatie, productie of totstandkoming van deze publicatie of de informatie die erin vervat zit, kan op enige wijze verantwoordelijk of aansprakelijk gesteld worden voor de volledigheid of bruikbaarheid van enige informatie vervat in deze publicatie, noch kunnen ze aansprakelijk gesteld worden voor enige directe of indirecte schade die voortvloeit uit het gebruik van de informatie die beschikbaar gesteld wordt door deze publicatie.



Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek
Burg. Van Gansberghelaan 92
9820 Merelbeke - België
T +32 9 272 25 00
ilvo@ilvo.vlaanderen.be
www.ilvo.vlaanderen.be