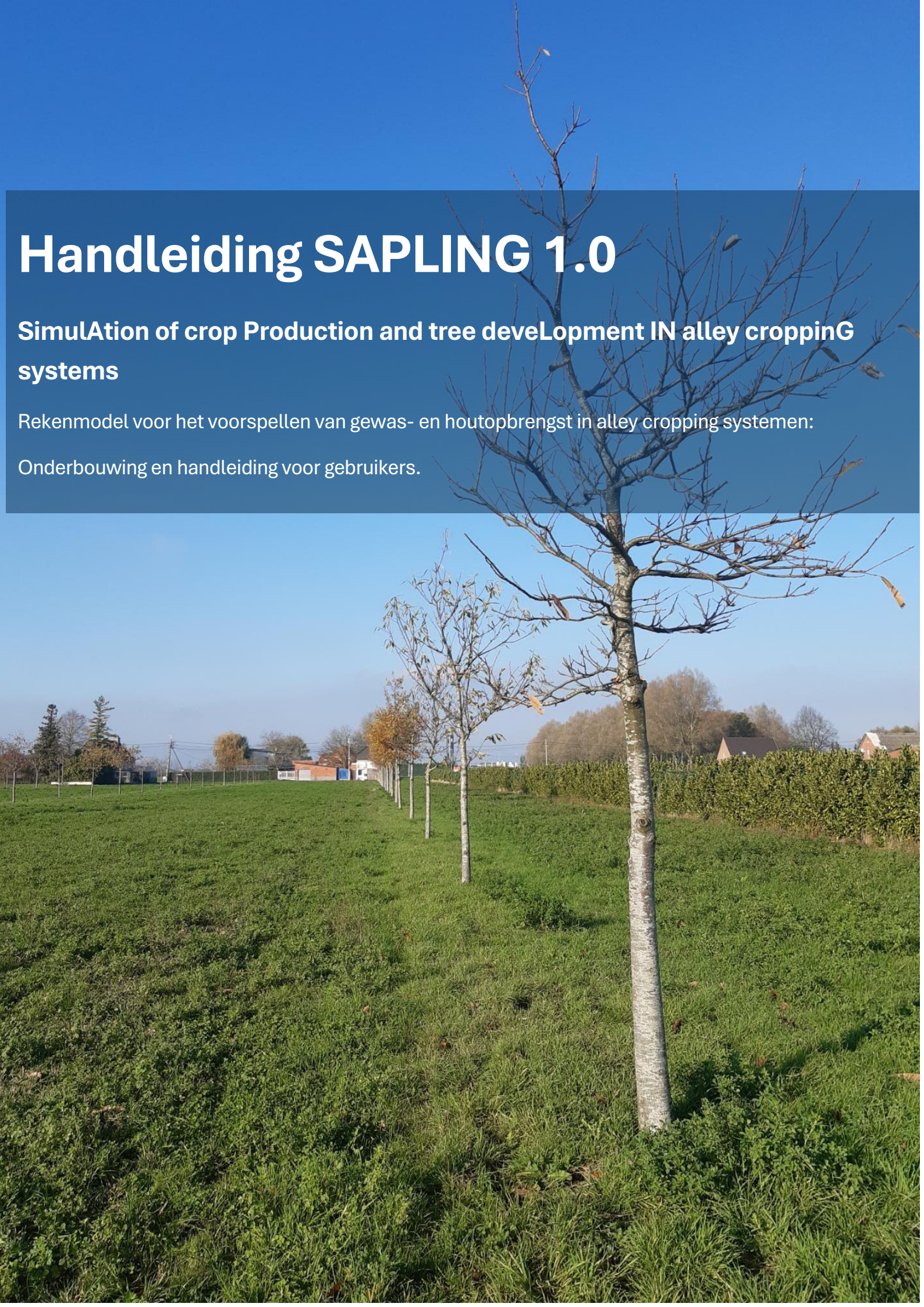
Handleiding SAPLING 1.0

SimulAtion of crop Production and tree deveLopment IN alley croppinG systems

Rekenmodel voor het voorspellen van gewas- en houtopbrengst in alley cropping systemen:

Onderbouwing en handleiding voor gebruikers.



Versie rapport: September 2026

Volgende personen werkten mee aan de ontwikkeling van de SAPLING tool:

Emma Van den heede[1]

Paul Pardon[2]

Bert Reubens[2]

[1]Universiteit Gent (Ugent). Sint-Pietersnieuwstraat 25, 9000 Gent.

[2] Instituut voor Landouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek (ILVO). Burgemeester Van Gansberghelaan 109, 9820 Merelbeke-Melle. ilvo@ilvo.vlaanderen.be

Referentie:

Van den heede E., Pardon P. & Reubens B. (2026). *SAPLING rekenmodel voor het voorspellen van gewas- en houtopbrengst in alley cropping systemen: onderbouwing en handleiding voor gebruikers. ILVO, België, 26 p*.

https://doi.org/10.5281/zenodo.19085801

VOORWOORD

Deze handleiding is bedoeld als leidraad voor mensen die de rekentool **"SimulAtion of crop Production and tree deveLopment IN alley croppinG systems" (SAPLING) versie 1.0** willen gebruiken. In deze handleiding zoomen we in op elke stap van SAPLING door uit te leggen wat je in elke stap doet, welke informatie je moet invoeren, welke achtergrondinformatie relevant is en welke praktische tips je kunnen helpen bij het gebruik van de webtool. SAPLING is onderdeel van het kennisuitwisselingsplatform "Agroforestry Planner," dat bestaat uit verschillende beslissingsondersteunende tools.

De ontwikkeling van SAPLING 1.0 is mogelijk gemaakt dankzij de projecten 'DigitAF' en 'AFaktive'.

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union. The European Union cannot be held responsible for them.
Grant agreement: 101059794

Co-funded by the European Union

DISCLAIMER

SAPLING is een beslissingsondersteunende tool die gewasopbrengsten, gewaskwaliteit, houtproductie en economische resultaten simuleert in alley-cropping-agroforestrysystemen tijdens de eerste tien jaar na aanplant. De berekeningen zijn gebaseerd op empirisch onderzoek, literatuur en aannames die representatief zijn voor gematigde landbouwsystemen in Noord-West Europa (DE, BE, NL, LU, DK, FR, GB).

De resultaten zijn afhankelijk van de parameters die de gebruiker invoert, zoals perceelontwerp, referentieopbrengsten, boom- en gewassoorten, gewasrotaties en marktprijzen. Gebruikers zijn zelf verantwoordelijk voor het invoeren van realistische, contextspecifieke en zo actueel mogelijke gegevens. De outputs van SAPLING dienen te worden geïnterpreteerd als indicatief en richtinggevend. Ze geven inzicht in mogelijke trends, relatieve verschillen en grootte-orde-effecten, maar vormen geen exacte voorspellingen.

De resultaten van SAPLING zijn bedoeld ter ondersteuning bij verkenning, ontwerp, planning en vergelijking van scenario's. ILVO en de partners van het Consortium Agroforestry Vlaanderen kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor beslissingen of gevolgen die voortvloeien uit het gebruik van deze tool. Met reacties, vragen of bedenkingen met betrekking tot SAPLING kun je steeds bij ons terecht via info@agroforestryvlaanderen.be.

INHOUDSTAFEL

Voorwoord **3**

Disclaimer **3**

Introductie van SAPLING **5**

Waarom SAPLING? 5

Wat is SAPLING? 5

Stappenplan SAPLING 6

Onderbouwing **7**

Boomsoorten 7

Boommodellen 7

Gewassen 11

Gewasopbrengst en -kwaliteits modellen 12

Economische waardering 14

Indicatieve Validatie 15

Verdere uitbreiding SAPLING 15

Praktische handleiding voor gebruiker **17**

STAP 1: Design alley-cropping perceel (Tabblad Field) 17

STAP 2: Gewas Rotatie (Tabblad Crop Production) 24

STAP 3: simulatie (Tabblad Simulation) 25

Bronvermelding **28**

INTRODUCTIE VAN SAPLING

WAAROM SAPLING?

Agroforestry krijgt in gematigde landbouwsystemen steeds meer aandacht als een veelbelovende agro-ecologische praktijk. Het kan bijdragen aan klimaatmitigatie en -adaptatie en een grotere diversiteit en veerkracht op het landbouwbedrijf. Daarnaast biedt agroforestry kansen om lagere gewasopbrengsten te compenseren via de productie van hout, fruit of noten. In de praktijk verschijnen deze economische voordelen echter pas jaren na de aanplant. In de beginfase ervaren landbouwers al wel de effecten van bomen op hun gewassen, terwijl de opbrengst van de bomen zelf nog beperkt is. Een goed inzicht in de impact van bomen op gewasopbrengsten en -kwaliteit in deze vroege jaren is daarom essentieel om de economische haalbaarheid van agroforestry te beoordelen.

Ondanks de groeiende interesse in agroforestry beschikken landbouwers vaak niet over duidelijke, kwantitatieve informatie op perceels- en bedrijfsniveau. Vooral onzekerheid over mogelijke opbrengstverliezen vormt een belangrijke drempel voor adoptie. Beslissingsondersteunende tools die opbrengsten en economische gevolgen inzichtelijk maken, kunnen helpen om deze onzekerheden te verkleinen en realistische verwachtingen te scheppen.

WAT IS SAPLING?

De SAPLING tool werd ontwikkeld om in deze behoefte aan kwantitatieve en economische onderbouwing te voorzien. SAPLING maakt deel uit van de Agroforestry Planner Vlaanderen en ondersteunt de planning van agroforestrysystemen door simulaties van gewasopbrengsten, gewaskwaliteit en houtopbrengsten te combineren met een economische evaluatie. De tool richt zich op alley-cropping systemen en simuleert opbrengsten over een periode van tien jaar na de aanplant.

SAPLING is toepasbaar op een reeks akkerbouwgewassen en boomsoorten die veel voorkomen in gematigde landbouwstreken in Noord-West Europa. Voor elk gewas werden modellen ontwikkeld waarin opbrengst- en kwaliteitsvariabelen werden beschreven als functie van H, zijnde de verhouding tussen de afstand tot de bomenrij en de boomhoogte. Deze modellen zijn volledig gebaseerd op de meetresultaten van empirisch onderzoek uitgevoerd door ILVO (deels in samenwerking met Universiteit Gent) en grotendeels gepubliceerd in de papers Pardon et al. (2018) en Pardon et al. (2025). De boombiomassa wordt berekend op basis van soortspecifieke allometrische relaties en groeigegevens uit de literatuur.

SAPLING is een interactieve beslissingsondersteunende tool waarbij gebruikers verschillende invoerparameters kunnen aanpassen, zoals het ontwerp van het alley-cropping systeem, referentieopbrengsten, boom- en gewassoorten, gewasrotaties en marktprijzen van gewassen en hout. De outputs geven inzicht in de jaarlijkse opbrengsten en verliezen van zowel de gewassen als de houtige component, de economische waardering ervan en de totale balans.

De tool werd ontwikkeld als een dynamisch en uitbreidbaar instrument dat verder kan worden verfijnd met in situ-metingen en kan worden uitgebreid naar andere agroforestrysystemen en perceelontwerpen. Op die manier ondersteunt SAPLING wetenschappers, beleidsmakers en

landbeheerders bij het kwantificeren van de agronomische en economische prestaties van alley-cropping systemen gedurende de eerste tien jaar na aanleg van een agroforestry perceel.

STAPPENPLAN SAPLING

1 ONTWERP PERCEEL

- Kies of teken een perceel, rechthoekig of op een echte kaart.
- Pas de afmetingen en oriëntatie aan zodat het perceel overeenkomt met de werkelijke situatie of simulatiebehoefte.

2 PLAATSEN VAN BOOMRIJEN

- Bepaal waar de bomenrijen komen en welke boomsoorten worden gebruikt.
- Je kan snel een basisontwerp genereren of handmatig elke rij aanpassen voor een nauwkeurige veldindeling.

3 GEWASROTATIE

- Stel een 10-jarige rotatie op met beschikbare gewassen of braakland.
- De tool toont de verwachte gewasopbrengsten van reisteelten, die je indien nodig kan aanpassen aan je eigen ervaring of velddata.

4 SIMULATIE

- Voer de simulatie uit om de jaarlijkse gewasopbrengsten en kwaliteit, én houtopbrengsten te voorspellen.
- Resultaten worden visueel weergegeven en vergeleken met een klassiek landbouwsysteem.

5 ECONOMISCHE EVALUATIE

- De tool berekent financiële gevolgen van gewasverliezen en houtproductie.
- Resultaten tonen het netto economische effect van de alley-cropping praktijk over 10 jaar.

6 RAPPORT

- Je kan de gegevens exporteren als overzichtelijk rapport met grafieken en tabellen.

ONDERBOUWING

BOOMSOORTEN

SAPLING 1.0 werd initieel ontwikkeld voor twee boomsoorten die typisch voorkomen in een agroforestrycontext, namelijk populier (*Populus × canadensis*) en walnoot (*Juglans regia*). Daarnaast bevat de tool een zogenoemde 'standaardboom', waarvan de modelinformatie gebaseerd is op een gemiddelde van 19 boomsoorten:

Gewone esdoorn (*Acer pseudoplatanus*), zwarte els (*Alnus glutinosa*), witte paardenkastanje (*Aesculus hippocastanum*), hazelaar (*Corylus avellana*), es (*Fraxinus excelsior*), walnoot (*Juglans regia*), wilde appel (*Malus domestica*), populier (*Populus × canadensis*), boskers (*Prunus avium*), wilde peer (*Pyrus communis*), wintereik (*Quercus petraea*), zomereik (*Quercus robur*), valse acacia (*Robina pseudoacacia*), wilg (*Salix* sp.), lijsterbes (*Sorbus aucuparia*), elsbes (*Sorbus torminalis*), winterlinde (*Tilia cordata*), zomerlinde (*Tilia platyphyllos*) en olm (*Ulmus* sp.).

Verdere uitbreiding van de tool wordt momenteel beperkt door de beschikbaarheid van betrouwbare hoogtegroeicurves onder agroforestry-specifieke omstandigheden, die worden gekenmerkt door een vrij open aanplant en een nutriëntenrijke omgeving. Voor de diameter op borsthoogte en de houtbiomassa beschikken we over modellen voor 19 boomsoorten; de waarden voor de standaardboom zijn hierbij het gemiddelde van deze beschikbare soortspecifieke data. De hoogtemodellen worden momenteel verder ontwikkeld voor andere soorten, waardoor het in de toekomst mogelijk zal zijn om meer boomsoorten expliciet in SAPLING te integreren.

BOOMMODELLEN

HOOGTEMODELLEN

BIOMASSAMODEL

Om de (evolutie doorheen de tijd van de) biomassa van de bomen te berekenen, gebruiken we allometrische relaties gebaseerd op de diameter op borsthoogte (*Diameter at Breast Height*) (DBH). Dit gebeurt in twee stappen: (1) het voorspellen van het verloop van de DBH in functie van de tijd, en (2) het berekenen van de biomassa op basis van die DBH.

Diameter op borsthoogte

Voor 19 boomsoorten wordt DBH gemodelleerd als een functie van de tijd. De relatie tussen DBH en leeftijd is opnieuw boomsoort-specifiek en wordt hier ingeschat op basis van een aantal bronnen: Van Den Berge et al. (2021) voor bomen in houtkantverband in Vlaanderen, Lukaszkiewicz & Kosmala (2008) voor stadsbomen in Polen, Monteiro et al. (2017) voor stadsbomen in GB, en ten slotte Carton (2022) en Pardon (2018) voor populieren in Vlaanderen (zie Tabel 1).

Uit elke studie werden de ruwe data (DBH in functie van leeftijd) geëxtraheerd. Vervolgens werd aan deze afzonderlijke datasets een logistische relatie gefit (Vgl. 1). Deze relatie wordt in de ecologie vaak gehanteerd om de groei van bomen te benaderen.

$$DBH = \frac{a}{e^{b-ct}} \quad \text{[Vergelijking 1]}$$

Waarbij a, b en c specifieke modelparameters zijn en t de leeftijd van de boom [in jaren]. De modelparameters werden per boomsoort en per studie ingeschat door de Root Mean Square Error (RMSE) te minimaliseren. De boomsoorten waarvoor geen relatie beschikbaar is uit de literatuur werden aangevuld door hun groeisnelheid te vergelijken met die van de andere boomsoorten waarvoor wel een relatie beschikbaar is. Als voor een bepaalde boomsoort twee of meerdere groeirelaties beschikbaar waren, werd gekozen voor de curve die het beste de groei weerspiegelde in een vrijstaande context (bv. stadsbomen) (zie Tabel 1).

Voor elke boom op het perceel en voor iedere tijdstap zal het model de DBH berekenen op basis van de overeenkomstige formules. Deze DBH-waarden worden vervolgens als input gebruikt voor het biomassamodel.

Tabel 1: Diameter op borsthoogte (DBH) [cm] in functie van leeftijd (t) [jaar] voor de verschillende agroforestry boomsoorten.

Boomsoort	Groei-Snelheid	Vergelijking	Bron
Acer pseudoplatanus	Snel	= 61/(1+exp(2-0.059*t))	Monteiro et al. (2017)
Alnus glutinosa	Snel	= 728/(1+exp(4.62-0.035*t))	Van De Berge et al. (2021)
Aesculus hippocastanum	Medium	= 52.8/(1+exp(2.02-0.069*t))	Lukaszkiewicz & Kosmala (2008)
Corylus avellana	Medium	= 89.9/(1+exp(2.28-0.04*t))	Lukaszkiewicz & Kosmala (2008)
Fraxinus excelsior	Snel	= 68.7/(1+exp(2.7-0.072*t))	Lukaszkiewicz & Kosmala (2008)
Juglans regia	Medium	= 89.9/(1+exp(2.28-0.04*t))	Lukaszkiewicz & Kosmala (2008)
Malus domestica	Medium	= 89.9/(1+exp(2.28-0.04*t))	Lukaszkiewicz & Kosmala (2008)
Populus × canadensis	Zeer snel	= 65.6/(1+exp(2.12-0.187*t))	Carton et al. (2022)
Prunus avium	Snel	= 89.9/(1+exp(2.28-0.04*t))	Lukaszkiewicz & Kosmala (2008)
Pyrus communis	Medium	= 89.9/(1+exp(2.28-0.04*t))	Lukaszkiewicz & Kosmala (2008)
Quercus petraea	Traag	= 60.2/(1+exp(2-0.061*t))	Van De Berge et al. (2021)
Quercus robur	Traag	= 60.2/(1+exp(2-0.061*t))	Van De Berge et al. (2021)
Robinia pseudoacacia	Snel	= 1452.5/(1+exp(5.66-0.041*t))	Van De Berge et al. (2021)
Salix sp.	Snel	= 1452.5/(1+exp(5.66-0.041*t))	Van De Berge et al. (2021)
Sorbus aucuparia	Medium	= 89.9/(1+exp(2.28-0.04*t))	Lukaszkiewicz & Kosmala (2008)
Sorbus torminalis	Medium	= 89.9/(1+exp(2.28-0.04*t))	Lukaszkiewicz & Kosmala (2008)
Tilia cordata	Medium	= 89.9/(1+exp(2.28-0.04*t))	Lukaszkiewicz & Kosmala (2008)
Tilia platyphyllos	Medium	= 89.9/(1+exp(2.28-0.04*t))	Lukaszkiewicz & Kosmala (2008)
Ulmus sp.	Snel	= 61/(1+exp(2-0.059*t))	Monteiro et al. (2017)

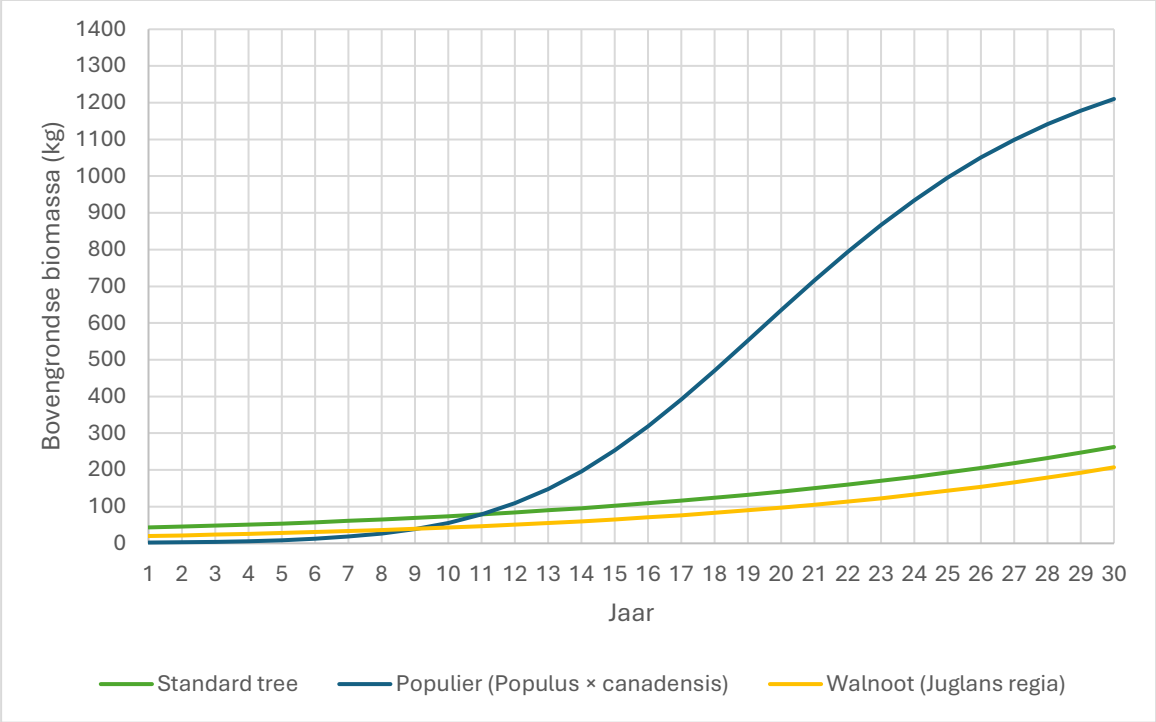
Biomassa

Om de bovengrondse houtige biomassa van de verschillende bomen op het perceel te kwantificeren, werd opnieuw gebruikgemaakt van allometrische relaties op basis van de DBH. Deze relaties werden per boomsoort afgeleid uit de literatuur: Shafer et al. (2019) met biomassavergelijkingen voor bomen in voedselbossen, McPherson et al. (2016) met volumevergelijkingen voor stadsbomen in de USA en Hjelm & Johansson (2012) met volumevergelijkingen voor populieren in Zweden. Boomsoorten waarvoor geen allometrische relatie beschikbaar is, werden aangevuld op basis van de boomsoorten met een gelijkaardige groeisnelheid (zie Tabel 2). Indien enkel een allometrische relatie voor het bovengrondse volume beschikbaar is, werd ook de houtdensiteit opgezocht in de Global Wood Density Database (Zanne et al. 2009). Door de houtdensiteit te vermenigvuldigen met het volume kan

de totale bovengrondse biomassa bepaald worden. Figuur 1 toont de toename van de bovengrondse biomassa in de tijd.

Tabel 2: Allometrische relaties voor bovengrondse biomassa [kg] op basis van diameter op borsthoogte (DBH) [cm] voor de 19 boomsoorten. De vergelijkingen werden voor overeenkomstige boomsoorten in een stadsbos- of voedselboscontext afgeleid uit de literatuur.

Boomsoort	Vergelijking	Bron
Acer pseudoplatanus	= (520/1000)*(0.0019421*DBH^1.785)	McPherson et al. (2016)
Alnus glutinosa	= 0.00079*DBH^2.28546	Shafer et al. (2019)
Aesculus hippocastanum	= (580/1000)*(0.0002431*DBH^2.415)	McPherson et al. (2016)
Corylus avellana	= exp(-2.2118+2.4133*ln(DBH))	Shafer et al. (2019)
Fraxinus excelsior	= (530/1000)*(0.0005885*DBH^2.206)	McPherson et al. (2016)
Juglans regia	= exp(-2.2118+2.4133*ln(DBH))	Shafer et al. (2019)
Malus domestica	= exp(-2.2118+2.4133*ln(DBH))	Shafer et al. (2019)
Populus × canadensis	= (370/1000)*(exp(0.3285*ln(dbh)^2.2502))	Hjelm & Johansson (2012)
Prunus avium	= exp(-2.2118+2.4133*ln(DBH))	Shafer et al. (2019)
Pyrus communis	= exp(-2.2118+2.4133*ln(DBH)))	Shafer et al. (2019)
Quercus petraea	= (580/1000)*(0.0002431*DBH^2.415)	McPherson et al. (2016)
Quercus robur	= (580/1000)*(0.0002431*DBH^2.415)	McPherson et al. (2016)
Robinia pseudoacacia	= 4.13741*DBH^2.17752	McPherson et al. (2016)
Salix sp.	= 0.454*10^(0.8856+2.0552*log(2.54*DBH))	Shafer et al. (2019)
Sorbus aucuparia	= exp(-2.2118+2.4133*ln(DBH))	Shafer et al. (2019)
Sorbus torminalis	= exp(-2.2118+2.4133*ln(DBH))	Shafer et al. (2019)
Tilia cordata	= exp(-2.6788+2.4542*ln(DBH))	Shafer et al. (2019)
Tilia platyphyllos	= exp(-2.6788+2.4542*ln(DBH))	Shafer et al. (2019)
Ulmus sp.	= (460/1000)*(0.0018*DBH^1.869)	McPherson et al. (2016)



Figuur 1: Bovengrondse boombiomassa [kg] in functie van de tijd volgens de allometrische relaties voor de standaardboom, populier en walnoot (Hjelm & Johansson, 2012; Shafer et al., 2019) .

VERDELING VAN HOUTVOLUME

Voor de verdere analyse werd de totale biomassa [kg] na tien jaar omgerekend naar houtvolume [m^3] op basis van soortspecifieke houtdensiteiten (Zanne et al. 2009). Deze omzetting is noodzakelijk voor de economische waardering (zie Economische waardering).

De houtige component van het alley-cropping systeem levert verschillende eindproducten op. Omdat de verhouding tussen kwaliteitshout, biomassa en niet-oogstbare restfracties per boomsoort verschilt, hanteert de simulatie een standaardverdeling om het totale houtvolume per soort op te splitsen in deze categorieën (zie Tabel 1).

Tabel 3: Voorlopige soortspecifieke verdeling van houtvolume [m^3] tussen kwaliteitshout en biomassa.

Boomsoort	High-quality wood volume (%)	Extra biomassa volume (%)
Juglans regia		
Populus × canadensis	69	21
Prunus avium	61	31
Standard	65	26

GEWASSEN

SAPLING 1.0 is ontwikkeld voor vijf courant voorkomende akkerbouwgewassen in Vlaanderen: **kuilmaïs, korrelmaïs, wintertarwe, wintergerst en aardappel**. Deze selectie is gebaseerd op beschikbare empirische data en wetenschappelijke onderbouwing (Pardon et al., 2018; 2025). In toekomstige versies van de tool zal de lijst van ondersteunde gewassen verder worden uitgebreid naarmate nieuwe empirische gegevens beschikbaar komen. Indien de gebruiker een gewas wil analyseren dat nog niet in de lijst aanwezig is, kan deze ervoor kiezen een vergelijkbaar gewas uit de bestaande selectie te gebruiken om een indicatieve schatting te maken.

GEWASKWALITEITSPARAMETERS

Voor elk van de vijf gewassen die momenteel in SAPLING zijn opgenomen, zijn verschillende kwaliteitsparameters beschikbaar. Afhankelijk van het specifieke gewas, zijn dit **ruw eiwitgehalte (%), zetmeelgehalte (%), verteerbaarheid van organisch materiaal (%), drogestofgehalte (%) en/of duizendkorrelgewicht (g)**. De invloed van de aanwezigheid van de bomen op deze parameters is gebaseerd op gegevens uit de studie van Pardon et al. (2025).

Tabel 4: Overzicht van kwaliteitsparameters per gewas die in SAPLING worden gemodelleerd

Gewas	Kwaliteitsparameters
Kuilmais	Ruw eiwitgehalte (%), zetmeelgehalte (%),verteerbaarheid van organisch materiaal (%), drogestofgehalte (%)
Graanmais	Drogestofgehalte (%)
Wintertarwe	Duizendkoreelgewicht (g), drogestofgehalte (%)
Wintergerst	Ruw eiwitgehalte (%), drogestofgehalte (%)
Aardappelen	Drogestofgehalte (%)

GEMIDDELDE GEWASOPBRENGSTEN EN VOCHTPERCENTAGES

Binnen SAPLING wordt de gewasopbrengst van een alley-cropping systeem vergeleken met die van een reinteeltsysteem (de zuivere teelt van een enkelvoudig gewas zonder aanwezigheid van bomen) onder conventionele bedrijfsvoering. De **referentiewaarden voor de gemiddelde opbrengsten** zijn afkomstig van STATBEL Land- en tuinbouwbedrijven - landbouwgegevens (zie Tabel 5). Deze referentiewaarden in ton product per hectare worden omgerekend naar ton droge stof (DS) per hectare door te vermenigvuldigen met het DS-gehalte (1 – vochtgehalte). De gebruikte vochtpercentages zijn gebaseerd op de volgende bronnen: de WUR-fiche met drogestofgehaltes voor kuilmaïs, het ILVO-rassenoverzicht voor korrelmaïs, de FEGRA-ontvangstvoorwaarden voor wintertarwe en wintergerst, en de productfiche van VLAM voor aardappel. De bijbehorende waarden zijn weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5: Gemiddelde gewasopbrengsten volgens STATBEL (2023) en vochtpercentages van de gewassen in de SAPLING tool.

Gewas	Gemiddelde Opbrengst (ton droge stof/ha)	Vochtpercentages
Kuilmais	16.9	65%
Graanmais	9.4	15%
Wintertarwe	7.8	15.5%
Wintergerst	7.3	15.5%
Aardappelen	8.9	79%

GEWASOPBRENGST EN -KWALITEITS MODELLEN

In het model worden gewasopbrengst en -kwaliteit in alley-cropping systemen bepaald in functie van **H**, de verhouding tussen de afstand tot de bomen en de boomhoogte (H = afstand/boomhoogte) (Vgl. 2). Variabele H combineert twee belangrijke factoren: de afstand tot de bomen en hun hoogte, die beide de gewasgroei beïnvloeden via schaduw, wortelcompetitie en veranderingen in het microklimaat. Ter illustratie: H = 0,5 betekent dat de afstand tot de bomen de helft van de boomhoogte bedraagt; H = 2 betekent dat de afstand dubbel zo groot is als de boomhoogte.

Voor elk gewas in de rotatie (kuilmaïs, korrelmaïs, aardappel, wintergerst en wintertarwe) wordt de gewasopbrengst en bijbehorende kwaliteitsparameters gemodelleerd met behulp van een **lineair gemengd-effectenmodel** van de vorm:

$$\boldsymbol{Y = a + b * log_2(H)} \qquad \text{[Vergelijking 2]}$$

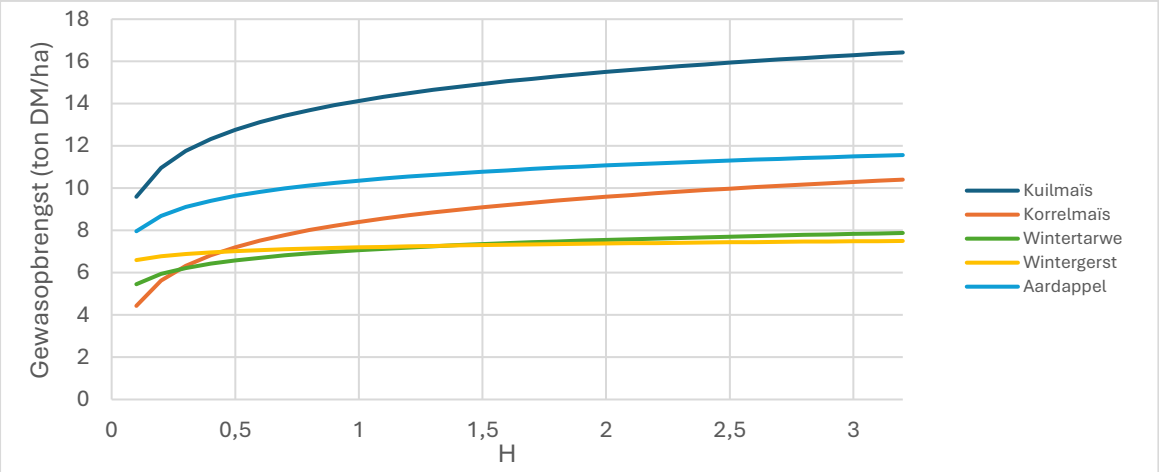
waarbij *Y* de gewasopbrengst (ton droge stof per hectare) of een gewaskwaliteitsparameter is. De parameters *a* en *b* zijn gewasspecifiek en verschillen naargelang het gaat om opbrengst- of kwaliteitsvariabelen (zie Tabel 6). De $\log_2$-transformatie zorgt ervoor dat de invloed van de bomenrij vooral groot is bij lage H-waarden en afvlakt bij grotere afstanden. De modellen en modelparameters werden afgeleid uit velddata van Vlaamse alley-cropping systemen (Pardon et al., 2025).

In SAPLING worden deze modellen toegepast op een 10-jarige rotatie. Voor elk jaar worden de opbrengst en de bijbehorende gewaskwaliteitsparameters berekend in functie van de H-waarde. **Figuur 2** toont voor elk gewas de relatie tussen H en de gewasopbrengst [ton DS/ha]. De logaritmische functie illustreert dat de gewasopbrengst afneemt bij lagere H-waarden en afvlakt bij grotere H-waarden; een vergelijkbaar patroon geldt voor de gewaskwaliteitsparameters. De H-waarden waarbij de gewasopbrengst in alley-cropping gelijk is aan de gemiddelde opbrengst in reinteelt bedragen respectievelijk 4,0 voor kuilmaïs, 1,8 voor korrelmaïs, 2,9 voor wintertarwe, 1,5 voor wintergerst en 0,25 voor aardappel. Bij H-waarden lager dan deze H-waarden daalt de opbrengst ten opzichte van reinteelt, terwijl bij hogere H-waarden de opbrengst groter wordt.

Tabel 6: Gewasspecifieke modelparameters (a en b) van het lineair mixed model (Vgl. 2) volgens Pardon et al. (2025).

	Gewas	Parameter a	Parameter b
Opbrengst (tonDM/ha)	Kuilmaïs	14.133	1.366
	Korrelmaïs	8.4	1.195
	Wintertarwe	7.067	0.485
	Wintergerst	7.2	0.181
	Aardappel	10.358	0.721

Ruw eiwitgehalte (%)	Kuilmaïs	7.846	0.051
	Wintergerst	12.042	0.041
Duizendkorrelgewicht (g)	Wintertarwe	11.474	0.147
Organisch materiaal verteerbaarheid (%)	Kuilmaïs	75.222	-0.439
Zetmeelgehalte (%)	Kuilmaïs	31.05	0.019
Droge stof gehalte (%)	Kuilmaïs	34.228	0.119
	Korrelmaïs	65.903	0.418
	Wintertarwe	87.288	0.142
	Wintergerst	89.775	0.21
	Aardappel	22.822	-0.27



Figuur 2: Gewasopbrengst [ton DS/ha] in functie van H (afstand tot bomenrij/boomhoogte) voor de verschillende gewassen in de SAPLING tool. De relatie werd gemodelleerd als een logaritmische functie $[opbrengst = a + b * log_2(H)]$ volgens de studie Pardon et al. (2025).

Belangrijke aannames en beperkingen

De modellen zijn hoofdzakelijk gebaseerd op veldgegevens uit alley-cropping systemen met jonge tot middeloude bomen (tot ongeveer 10 jaar oud). Om deze reden is de toepassing van het model expliciet beperkt tot de eerste tien jaar na aanplant van het alley-cropping systeem. De betrouwbaarheid van de resultaten buiten deze periode is onzeker, aangezien veranderingen in kroonarchitectuur, groeirichting en de verhouding tussen kroonvolume en boomhoogte de aard en sterkte van boom-gewasinteracties kunnen wijzigen.

Daarnaast is de geldigheid van de modellen beperkt tot het bereik van H-waarden dat in de onderliggende velddata werd waargenomen (zie Tabel 7). Extrapolatie buiten dit bereik gaat gepaard met verhoogde onzekerheid. Om deze onzekerheid te beperken, worden in de tool grenswaarden gehanteerd voor de maximale afstand tussen bomenrijen, waardoor extreem hoge H-waarden en daarmee samenhangende onzekere modeluitkomsten worden vermeden.

Tabel 7: Bereik van H in de bemonsterde percelen en meetplots per gewas.

Gewas	H bereik
Snijmais	0,12 – 14,62
Graanmais	0,33 – 3,04
Wintertarwe	0,17 – 8,20
Wintergerst	0,10 – 12,90
Aardappel	0,40 – 6,56

In SAPLING wordt er een vergelijking gemaakt tussen de tool-gemodelleerde opbrengsten voor alley-cropping systemen en gemiddelde opbrengstwaarden voor klassieke reinteeltsystemen. Die gemiddelde opbrengstwaarden fungeren als referentiekader en zijn representatief voor Belgische teeltomstandigheden. Regionale verschillen in bodemtype, klimaatomstandigheden en managementpraktijken worden hierbij niet expliciet meegenomen. Om deze beperking te ondervangen, laat de tool toe om de gehanteerde gemiddelde opbrengstwaarden aan te passen aan bedrijfsspecifieke of perceelspecifieke omstandigheden.

Merk op: specifiek voor aardappel zorgen de veldmetingen uit bovengemiddelde productiejaren (2017 en 2021) voor een lichte overschatting van de gemiddelde aardappelopbrengst in agroforestry context in de modellen.

ECONOMISCHE WAARDERING

De economische waardering in SAPLING vergelijkt de houtwinsten en gewasverliezen die gepaard gaan met de overgang van klassieke landbouwsystemen naar alley-cropping systemen. De houtige component in het alley-cropping systeem wordt gewaardeerd op basis van het houtvolume na tien jaar, opgesplitst in biomassa, hoogwaardig hout en een ongebruikte fractie. De marktprijzen voor deze houtproducten zijn weergegeven in Tabel 8 en gebaseerd op het informatiefiche Houtopbrengsten uit agroforestry.

Naast de opbrengsten van de houtige component, moeten ook de potentiële verliezen in gewasopbrengst worden meegenomen. Het verschil in gewasopbrengst tussen alley-cropping en reinteelt wordt berekend met behulp van de gewasmodellen en de gemiddelde opbrengstwaarden in Tabel 5. De marktprijzen van de gewassen zijn weergegeven in Tabel 9.

In de eerste jaren na de aanleg van een alley-cropping systeem kan het netto-inkomen tijdelijk dalen. Dit is het gevolg van (i) verlies van teeltbare oppervlakte door de aanwezigheid van bomenrijen en (ii) verminderde opbrengst- en/of kwaliteitsniveaus van gewassen nabij de bomen. Deze negatieve effecten worden deels gecompenseerd door hogere opbrengsten verder van de bomen, onder meer door gunstige microklimatische effecten zoals verminderde windsnelheid, hogere bodemvochtigheid en temperatuurbuffering. De effecten van de aanwezigheid van bomen op de gewaskwaliteit blijven beperkt en zijn van geringe economische relevantie tijdens het eerste decennium na aanplant.

In deze analyse beperken we ons tot de eerste tien jaar na de overgang naar alley-cropping, een periode waarin de bomen nog jong zijn en hun biomassa slechts beperkt toeneemt (Figuur 1). In deze initiële fase levert de houtige component nauwelijks marktbare opbrengsten op, waardoor de economische impact hoofdzakelijk wordt bepaald door veranderingen in de gewasopbrengst in de nabijheid van de bomen. Zoals weergegeven in Figuur 1 neemt de boombiomassa pas na deze eerste tien jaar substantieel toe, wat gepaard gaat met een sterkere stijging van de economische waarde van de houtige component. Hierdoor kan het systeem op langere termijn een positief netto-economisch resultaat opleveren.

Tabel 8: Marktprijzen [€/m³] voor volume hout, onderverdeeld op basis van biomassa en hoog kwaliteitshout.

Houtsoort	Houtcomponent	Prijs per volume hout [€/m³]
Populier	Biomassa	17.5
	Hoog kwaliteitshout	278.48

Tabel 9: Marktprijzen [€/ton product] voor de vijf gewassen: kuilmais, graanmais, wintertarwe, wintergerst en aardappelen.

Gewas	Prijs (€) per ton product
Kuilmais	101
Graanmais	171
Wintertarwe	215
Wintergerst	216
Aardappelen	153

INDICATIEVE VALIDATIE

Om de prestaties van de SAPLING-tool te evalueren, werd een indicatieve validatie uitgevoerd. Hiervoor werden opbrengstgegevens van twee percelen uit de bestaande dataset vergeleken met de opbrengsten die door de tool werden voorspeld op basis van de ontwikkelde modellen. Deze modellen schatten de gewasopbrengst als functie van de afstand tot de bomenrij en de boomhoogte in alley-cropping systemen.

Voor elk gewas werd de procentuele afwijking berekend tussen de gemeten opbrengst en de opbrengst voorspeld door SAPLING. De resultaten tonen een foutenmarge van ongeveer 16–21% voor de meeste gewassen, namelijk korrelmaïs (17%), wintertarwe (21%), wintergerst (16%) en aardappel (16%). Voor kuilmaïs werd een grotere afwijking vastgesteld (ongeveer 47%).

Aangezien voor deze evaluatie gebruik werd gemaakt van gegevens uit dezelfde dataset als die gebruikt werd voor de ontwikkeling van de modellen, moet deze analyse worden beschouwd als een indicatieve validatie. Verdere validatie met onafhankelijke veldgegevens is nodig om de nauwkeurigheid en robuustheid van de tool verder te bevestigen.

VERDERE UITBREIDING SAPLING

Om het script in de toekomst eenvoudiger uitbreidbaar te maken voor andere programmeurs of ontwikkelaars, werden in de code specifieke aanduidingen toegevoegd. Deze aanduidingen geven aan waar aanpassingen kunnen worden gemaakt om bijkomende boomsoorten of gewassen te integreren in de tool.

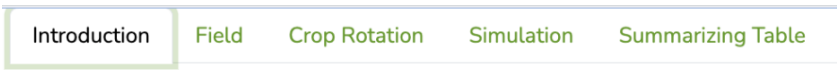
Voor het toevoegen van nieuwe boomsoorten kan men in het script zoeken naar de aanduiding “Other tree species” met behulp van de zoekfunctie (bijvoorbeeld Ctrl + F). Op deze locaties in de code wordt telkens een korte toelichting gegeven over welke aanpassingen nodig zijn. Wanneer de relevante wijzigingen zowel in het Shiny-script van SAPLING als in het script met de

functies worden doorgevoerd, kan een nieuwe boomsoort succesvol aan de tool worden toegevoegd.

Voor het toevoegen van nieuwe gewassen kan op een gelijkaardige manier gezocht worden naar de aanduiding “Other crops”. Ook hier wordt in de code aangegeven waar de nodige aanpassingen moeten gebeuren.

PRAKTISCHE HANDLEIDING VOOR GEBRUIKER

Om van start te gaan klik je op “Get started”. Je komt dan automatisch terecht op het eerste tabblad, “Field”. Via de tabbladen bovenaan de tool navigeer je eenvoudig naar de verschillende onderdelen.



STAP 1: DESIGN ALLEY-CROPPING PERCEEL (TABBLAD FIELD)

ONTWERP MODUS

Er zijn twee manieren om boomrijen te ontwerpen in deze tool.

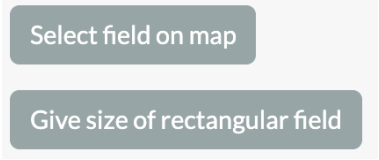
Try-out-modus genereert automatisch verticaal georiënteerde boomrijen op basis van de afstandsparameters die je kiest. Dit is een snelle manier om verschillende perceelsontwerpen te verkennen. De afstand tussen elke twee bomenrijen zal in deze modus steeds gelijk blijven.

Professionele modus geeft je meer controle. Je kunt rechtstreeks op het perceel klikken om de boomrijen precies te plaatsen waar je ze wilt. Zo kun je de indeling van je veld zo nauwkeurig mogelijk nabootsen en kan je bv. ook de afstand tussen verschillende rijen laten variëren.

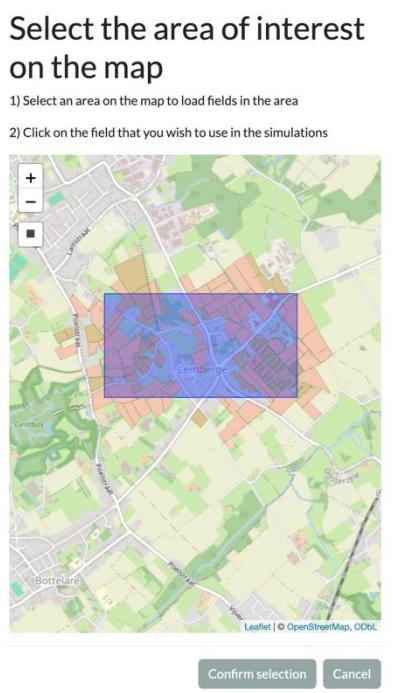
Kies de modus die het best aansluit bij jouw manier van werken: snelle verkenning of nauwkeurig ontwerpen op maat van jouw perceel en plannen.

PERCEELSDIMENSIES

Je krijgt de keuze tussen het ontwerpen van een alley-cropping systeem op een virtueel rechthoekig perceel (“Give size of rectangular field”) of een reëel perceel in Vlaanderen op de kaart (“Select field on map”).

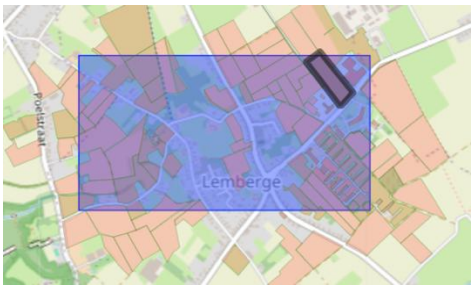


OPTIE 1: KNOP "SELECT FIELD ON MAP"



Selecteer een perceel op de kaart.

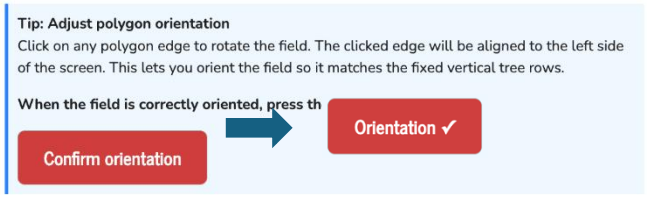
- Je kan de kaart verplaatsen door te **klikken en te slepen**.
- Gebruik **+** om in te zoomen en **–** om uit te zoomen.
- Klik op het **vierkant-icoon** ▣ en trek een kader rond het gewenste deel van de kaart. De beschikbare percelen verschijnen in **oranje**. Belangrijk: zoom voldoende in en maak het geselecteerde gebied niet te groot, zodat de selectie van het specifieke perceel correct kan gebeuren en de laadtijd niet te veel oploopt.
- Klik op het gewenste perceel om het te selecteren.
- Bevestig de selectie door op de knop **"Confirm selection"** te klikken.



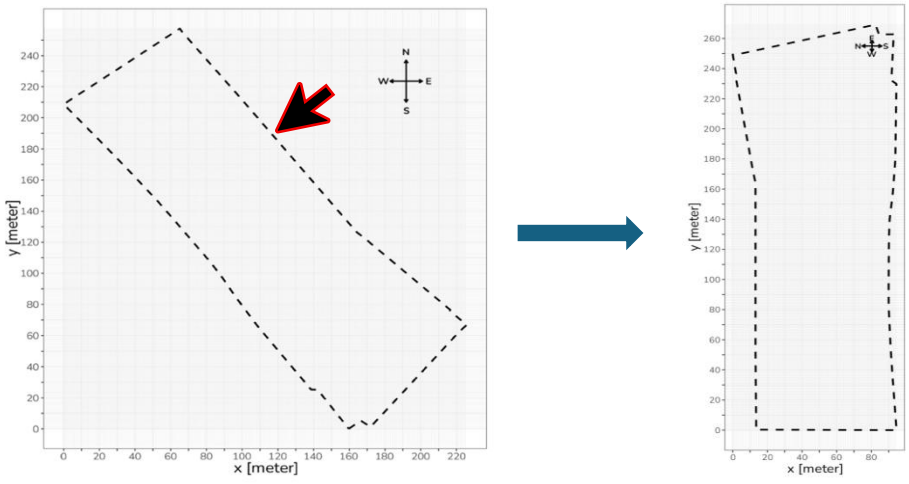
Na het uitvoeren van deze stap (optie 1) wordt het geselecteerde perceel automatisch weergegeven binnen het raster van de tool. Dit vormt de basis waarop in de volgende stappen verder wordt gewerkt.

Oriëntatie van het perceel aanpassen

Klik op een willekeurige zijde (stippellijn) van het perceel om het veld te roteren. De aangeklikte zijde wordt uitgelijnd met de linkerkant van het raster. Zo kun je het perceel oriënteren zodat het overeenkomt met de vaste verticale boomrijen die in de volgende stappen ingetekend zullen worden.



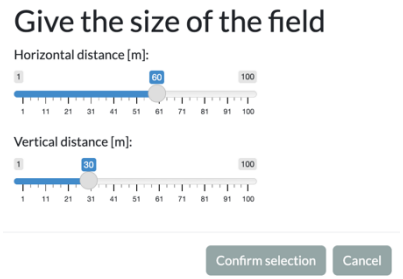
Wanneer het perceel correct is georiënteerd, druk je op de knop "Confirm orientation". Je nieuwe oriëntatie wordt bevestigd door ✓.



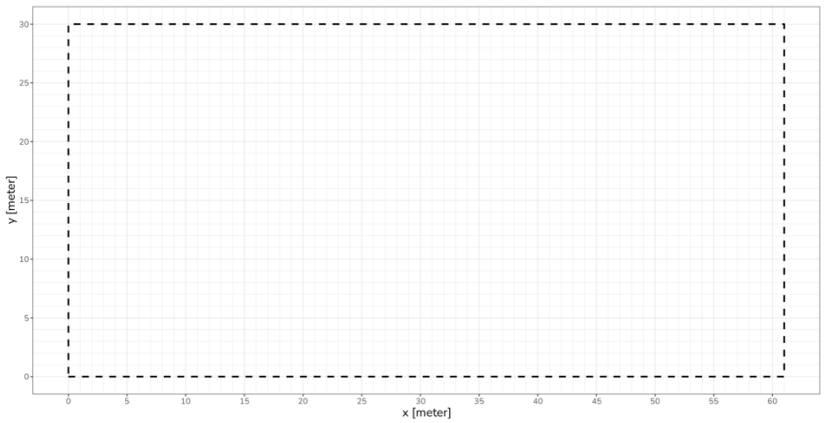
OPTIE 2: KNOP “GIVE SIZE OF RECTANGULAR FIELD”

Selecteer een rechthoekig perceel met zelfgekozen afmetingen.

- Verplaats de schuiver bij **“Horizontal distance (m)”** om de gewenste horizontale lengte in te stellen.
- Verplaats de schuiver bij **“Vertical distance (m)”** om de gewenste verticale lengte in te stellen.
- Bevestig de selectie door op de knop **“Confirm selection”** te klikken.

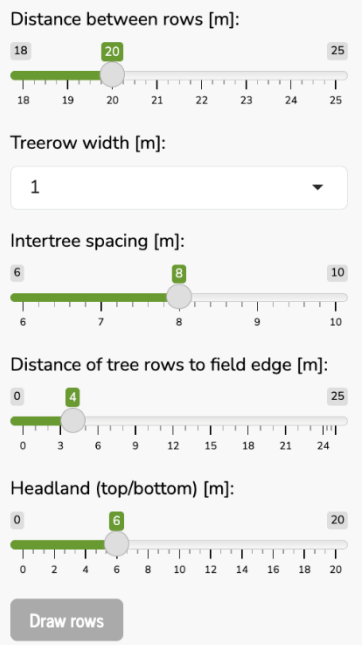


Na het uitvoeren van deze stap (optie 2) wordt het geselecteerde perceel automatisch weergegeven binnen het raster van de tool. Dit vormt de basis waarop in de volgende stappen verder wordt gewerkt.



TRY OUT MODUS

Inputs voor het instellen van bomenrijen:



Distance between rows (m) – slider: stel de afstand tussen de bomenrijen in.

Tree row width (m) – keuzemenu (3 opties): kies de breedte van de bomenrij.

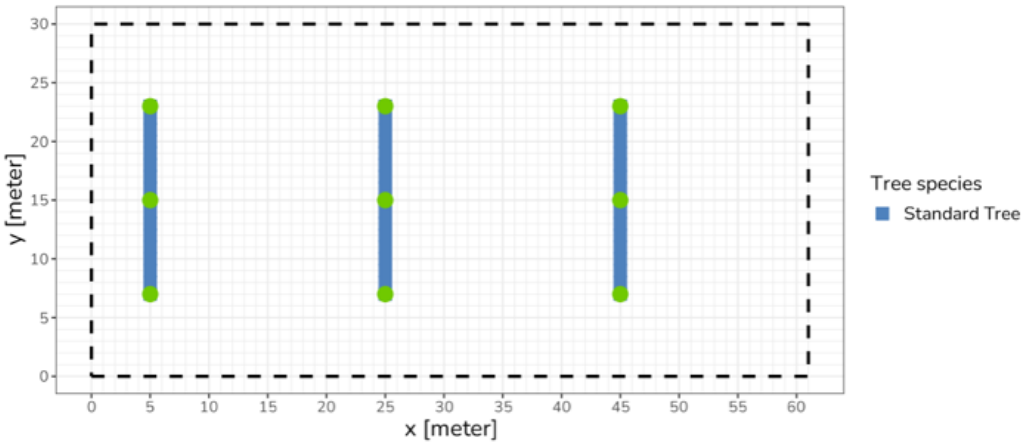
Intertree spacing (m) – slider: bepaal de afstand tussen de individuele bomen in een rij.

Distance of tree rows to field edge (m) – slider: stel de afstand in tussen de bomenrijen en de (linker/rechter) perceelsrand.

Headland (m) – slider: bepaal de breedte van de kopakker (boven- en onderzijde van de bomenrij).

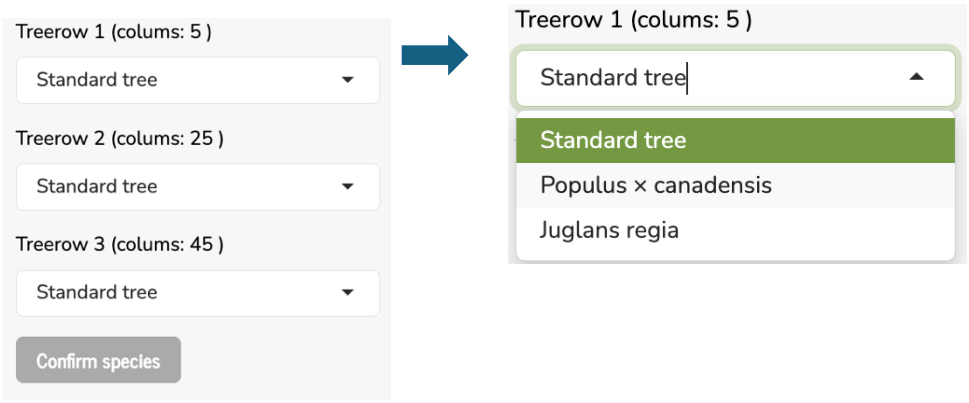
Bevestig de selectie door op de knop **"Draw rows"** te klikken.

Hieronder zie je het resultaat voor een rechthoekig perceel. De groene bolletjes zijn een voorbeeld van het aantal bomen dat in de bomenrij is aangeplant. Merk op: in de try-outmodus zal de afstand tussen alle rijen (en tussen de bomen in elke rij) steeds gelijk blijven.

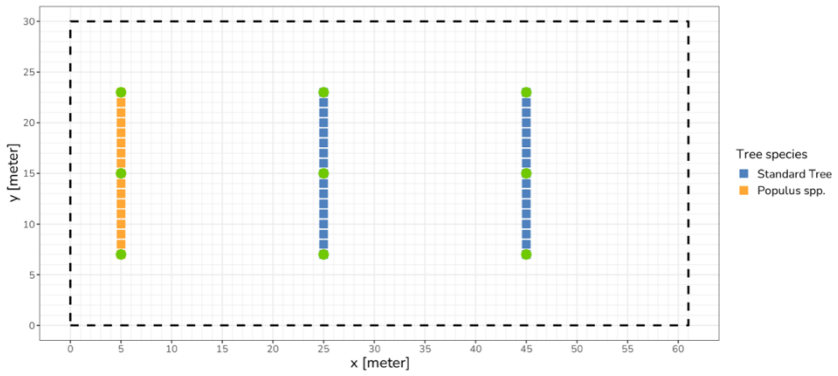


Kiezen van boomsoort per boomrij

In het keuzemenu kan je per bomenrij een boomsoort selecteren. Via het selectiepijltje open je de lijst met beschikbare boomsoorten. Indien er in de praktijk meerdere boomsoorten in 1 rij staan, kies je best voor de hoogst groeiende boomsoort. Na het kiezen van de gewenste soort klik je op **"Confirm species"**.

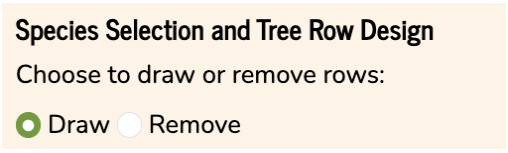


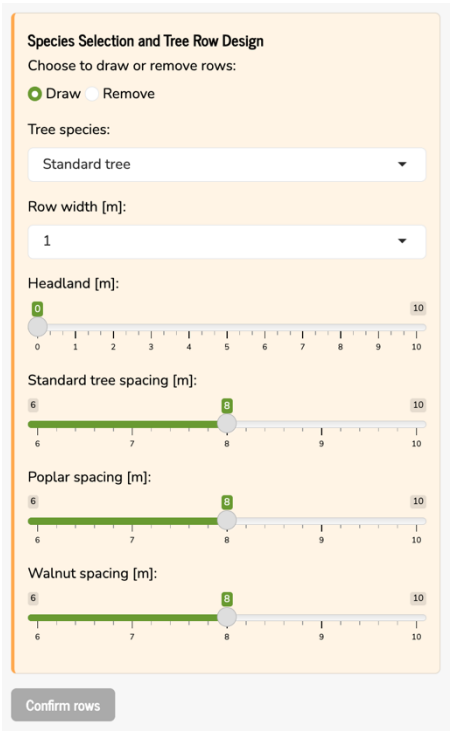
Nu wordt het resultaat van de vorige stappen getoond: het ontwerp van je alley-cropping systeem wordt nu weergegeven, met de ingeplande bomenrijen en de gekozen boomsoorten.



PROFESSIONAL MODUS

In de professionele modus krijg je opnieuw de keuze tussen een rechthoekig perceel (“Give size of rectangular field”) en een perceel in Vlaanderen op de kaart (“Select field on map”). Voor deze handleiding, werken we verder met een rechthoekig veld, maar dezelfde werkwijze wordt gebruikt voor een perceel.

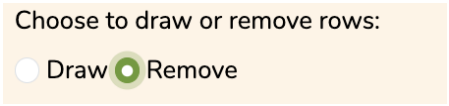




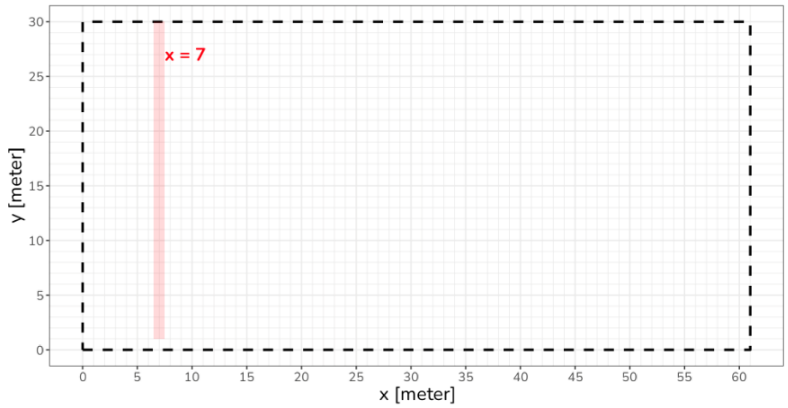
Om een bomenrij te tekenen, begin je altijd door de **‘Draw’-modus** te selecteren. Kies eerst de boomsoort; dit is belangrijk, want de eigenschappen van de bomenrij worden hieraan gekoppeld. Stel daarna de rijbreedte, de afstand tot de boven- en onderkant van het perceel (de kopakker) en de tussenboomafstand per boomsoort in. Klik op de kaart om de bomenrij te tekenen; de eigenschappen die op dat moment zijn ingesteld, worden aan deze rij gekoppeld.

Wil je een nieuwe rij met andere eigenschappen tekenen, pas dan de instellingen aan en klik op een nieuwe locatie. Elke klik maakt een rij met de op dat moment geselecteerde eigenschappen.

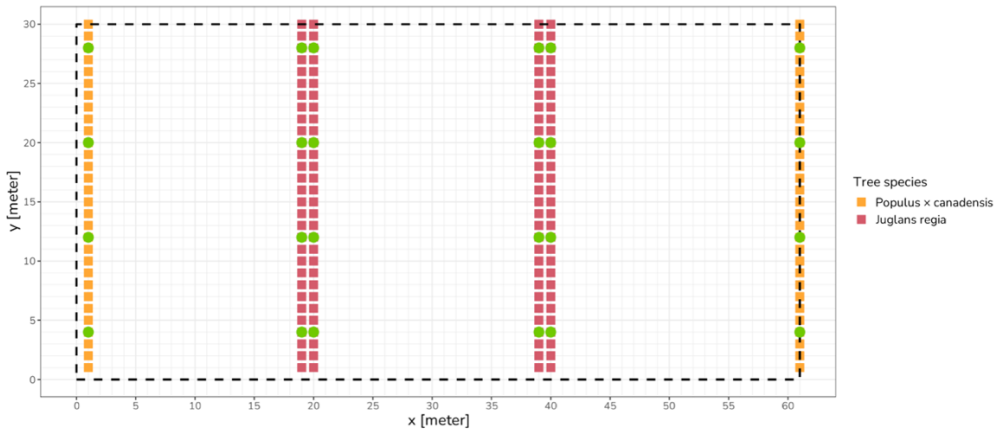
Als je een rij verkeerd hebt getekend of wilt verwijderen, schakel je over naar de **“Remove” modus** en klik je op de betreffende bomenrijen om ze te verwijderen.



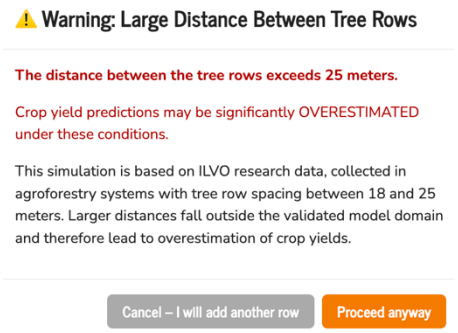
Wanneer je een boomrij gaat tekenen, zie je op de kaart precies waar de rij zal komen te liggen. De cursor toont de exacte positie van de toekomstige boomrij, zodat je heel nauwkeurig kunt bepalen waar je klikt.



Wanneer je tevreden bent met je ontwerp, klik je op **“Confirm Rows”** om alle getekende rijen op te slaan en het ontwerp te bevestigen.



Wanneer de afstand tussen de bomenrijen een bepaalde drempel overschrijdt (25m), verschijnt er een waarschuwing. Je kunt ervoor kiezen om de configuratie aan te passen of om verder te gaan met het huidige ontwerp. In dat laatste geval dient rekening te worden gehouden met een mogelijke overschatting van de gewasopbrengsten door de gebruikte modellen.



Voor de volgende stappen, wordt er verder gewerkt met het ontwerp van de try-out modus.

OVERZICHT PERCEEL EN SUBSIDIES

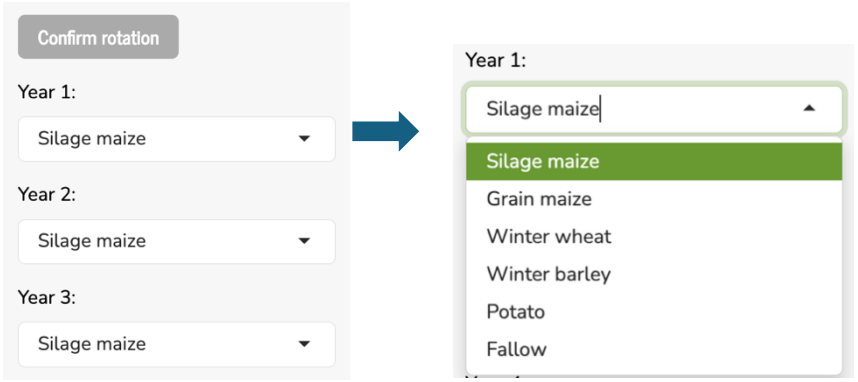
Na het ontwerpen van je perceel krijg je een beknopt overzicht van de totale oppervlakte en het aantal bomen per soort. Met deze informatie zie je meteen voor welke (Vlaamse) subsidies je mogelijk in aanmerking komt.

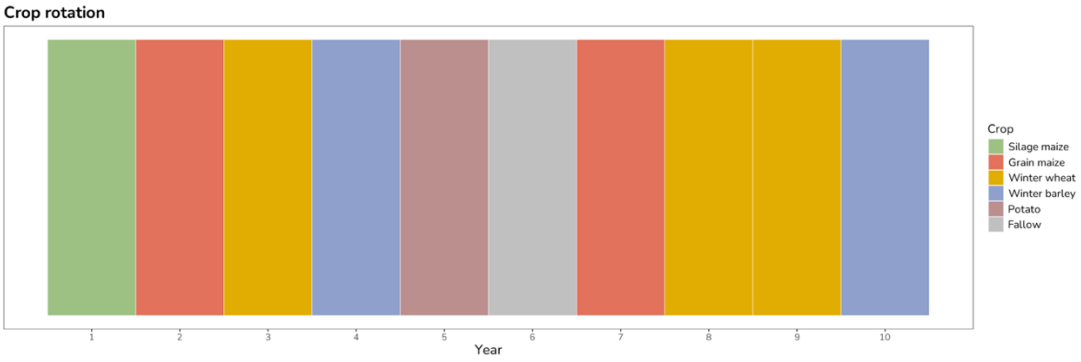
Door te klikken op de infoknop krijg je de gepaste informatie over subsidies. Op de volgende link, vind je ook nog extra info over GLB-subsidies voor aanplant en onderhoud van boslandbouwsystemen (Vlaamse regelgeving). Er worden door het Agentschap Landbouw en Zeevisserij duidelijke voorwaarden gesteld voor deze subsidies. Deze voorwaarden zijn ook te vinden via deze link (BLS) en deze link (BLO).

STAP 2: GEWAS ROTATIE (TABBLAD CROP PRODUCTION)

STEL EEN GEWASROTATIE OP VOOR 10 JAAR.

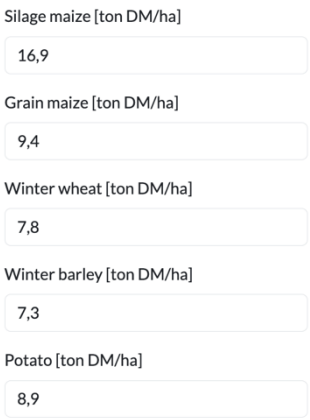
Je kunt kiezen uit 5 beschikbare gewassen of een braakliggend perceel. Selecteer voor elk jaar het gewenste gewas via het selectiemenu en bevestig de rotatie met **“Confirm rotation”**. Je krijgt een visueel overzicht van de gekozen rotatie. Heb je in realiteit andere gewassen voor ogen? Probeer dan een gewas te kiezen dat qua groei en opbrengst zo dicht mogelijk aansluit bij jouw keuzes (bv. wintertarwe indien je voor haver zou opteren).





GEMIDDELDE GEWASOPBRENGSTEN

Voor elk gewas wordt de opbrengst in ton DS/ha automatisch ingevuld op basis van de **standaardopbrengstwaarden** uit de STATBEL-cijfers. Je kunt deze waarden handmatig aanpassen door in het vak te klikken en een nieuwe waarde in te voeren, passend bij jouw simulatie of perceel.



STAP 3: SIMULATIE (TABBLAD SIMULATION)

Na het ontwerpen van je perceel en het bepalen van de gewasrotatie kun je de simulatie starten. Klik op **"simulate alley-cropping system"** om de simulatie te starten. Als je een eerdere stap hebt overgeslagen, krijg je eerst een melding die aangeeft wat er ontbreekt, zodat je dit kunt corrigeren voordat de simulatie begint.

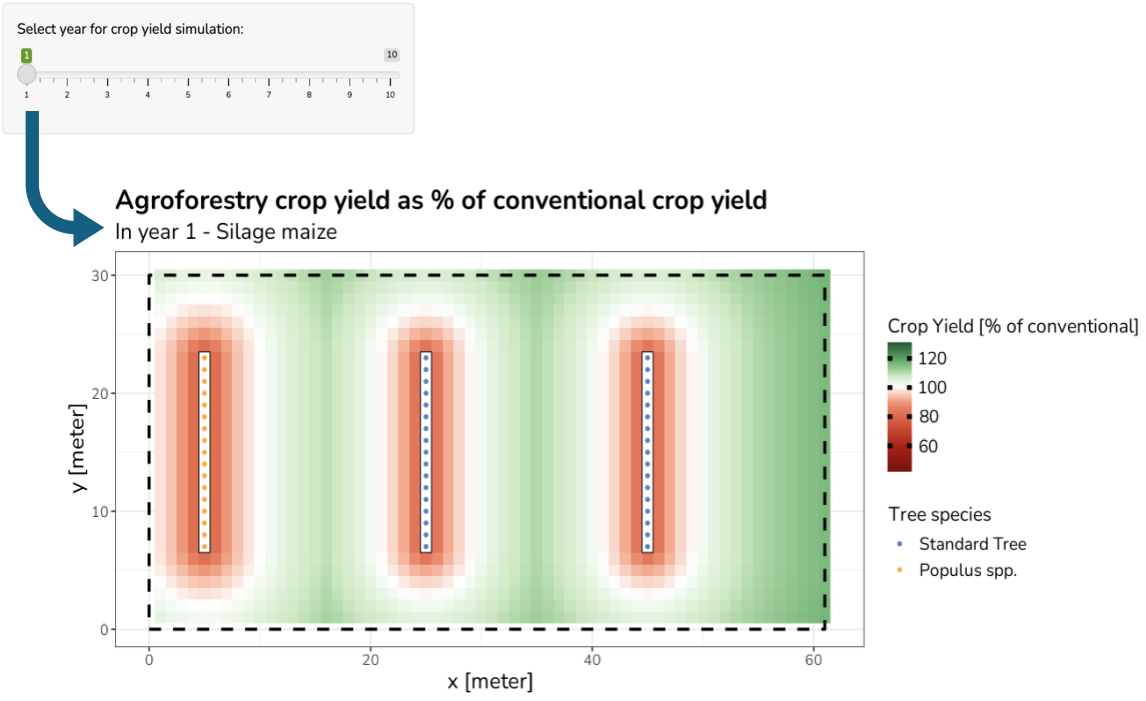
De resultaten worden weergegeven in drie afzonderlijke tabbladen:

- **Alley-cropping Yield** – jaarlijkse opbrengsten voor elk gewas en elke boomsoort
- **Quality Parameters** – jaarlijkse kwaliteitsindicatoren per gewas
- **Economic Output** – economische waardering van hout- en gewasproductie

RESULTATEN SIMULATIE

1. GEWAS- EN HOUTOPBRENGSTEN VOOR 10-JARIGE ROTATIE IN ALLEY-CROPPING SYSTEEM

De gewasopbrengst (ton DS/ha) wordt per jaar weergegeven voor het volledige perceel. Zo zie je meteen hoe de bomenrijen de gewasopbrengsten beïnvloeden. Via de schuifbalk **"Select year for crop simulation"** kan je elk jaar afzonderlijk bekijken. De kleurengradiënt vergelijkt de opbrengst van alley-cropping met de gemiddelde opbrengst in reinteelt: wit staat voor 100% (gelijk), roodtinten voor lagere opbrengsten (donkerder = lager) en groentinten voor hogere opbrengsten (donkerder = hoger).

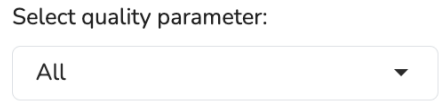


Voor de andere outputs zien we van boven naar beneden:

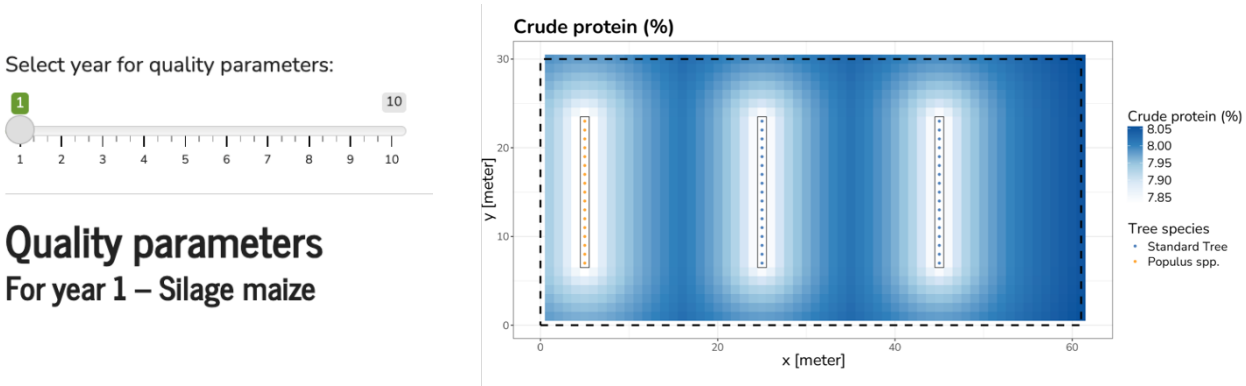
- Een **barplot met de jaarlijkse gewasopbrengsten** in het alley-croppingsysteem, met daarnaast de gemiddelde opbrengsten in reinteelt ter vergelijking, en dit voor alle 10 jaar.
- Een **barplot met de cumulatieve gewasverliezen** in het alley-cropping-systeem over de 10-jarige rotatie heen.
- Een **barplot met de cumulatieve houtopbrengsten** voor de verschillende boomsoorten, met in jaar 10 de totale hoeveelheid houtvolume.
- Een **overzichtelijke tabel**: gesimuleerde gewasopbrengst in een alley-cropping systeem (ton DS/field en ton DS/ha), gemiddelde gewasopbrengst in een klassiek landbouwsysteem met reinteelt (ton DS/ha), verschil (ton DS/ha), gewasopbrengsten in alley-cropping systeem als % van de gemiddelde opbrengsten in reinteelt.

2. KWALITEITSPARAMETERS

Aan de linkerkant van het tabblad staat een **overzichtelijke tabel die voor elk jaar de kwaliteitsparameters** van het perceel samenvat. Deze tabel bevat voor elk jaar in de rotatie en voor elke parameter de volgende waarden: minimum, maximum en gemiddelde. Via het menu **"select quality parameter"** kun je bovendien één specifieke parameter selecteren om de evolutie ervan over de jaren heen te bekijken.

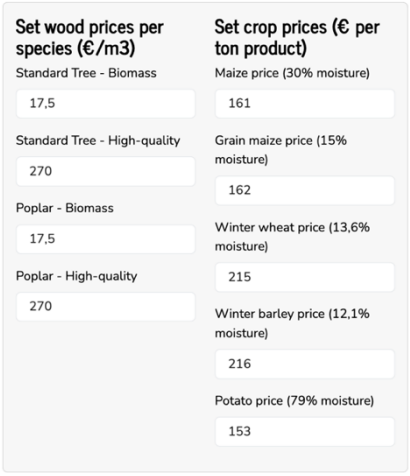


Aan de rechterkant worden de **kwaliteitsparameters voor één gekozen jaar weergegeven**. Het gewenste jaar kies je met de schuifregelaar **"select year for quality parameters"**. De waarden worden getoond via een kleurengradiënt, waardoor verschillen binnen het perceel duidelijk zichtbaar worden. Deze visualisatie laat ook zien hoe de bomenrijen de gewaskwaliteit beïnvloeden.

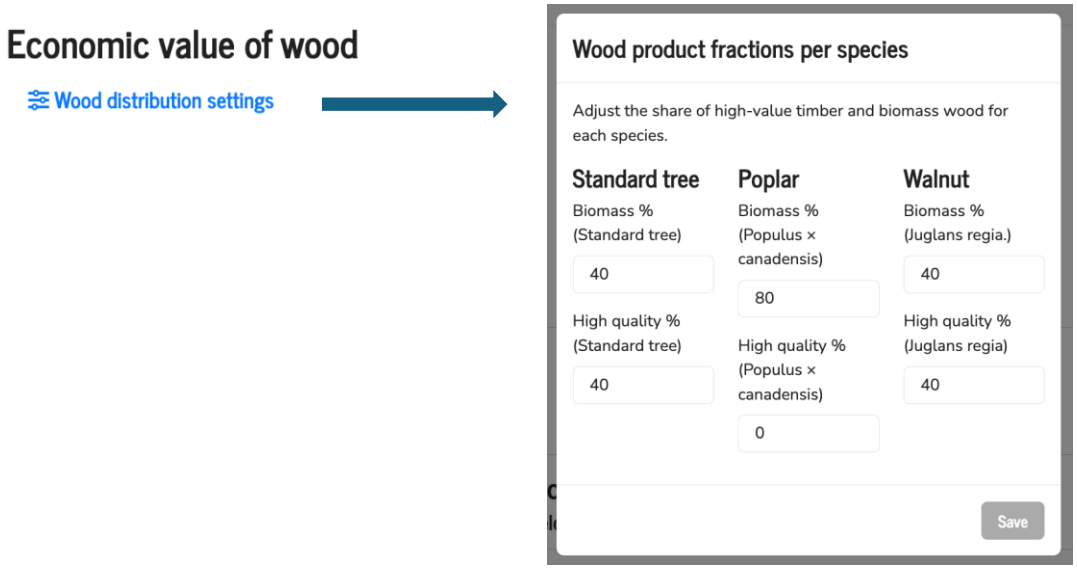


3. ECONOMISCHE WAARDERING

Je hebt de mogelijkheid om de **marktprijzen** voor **houtopbrengsten** (zowel hout voor biomassa als hoogwaardig hout) en voor **gewasopbrengsten** zelf aan te passen. Voor beide categorieën zijn standaardwaarden ingesteld.



Daarnaast kan je de **verdeling van het houtvolume over de verschillende eindproducten** zelf aanpassen, of gebruikmaken van de standaardwaarden. Wanneer je op de knop ***"Wood distribution settings"*** klikt, verschijnt er een pop-upvenster waarin je de verdeling van het houtvolume over de eindproducten kan wijzigen.



De eerste tabel toont het **totale economische resultaat** voor het perceel over een 10-jarige rotatie na de overgang van een klassiek landbouwsysteem naar alley-cropping agroforestry. Ze geeft een overzicht van de totale houtopbrengsten, de gewasverliezen en het nettoresultaat voor de eerste 10 jaar. De tweede en derde tabel geven een gedetailleerd overzicht van de houtopbrengsten en gewasverliezen.

BRONVERMELDING

Carton, S. (2022). Linking agroforestry design elements to carbon storage in a temperate region: a case study in Flanders, Belgium. WUR, ISARA]. Netherlands.

Hjelm, B., & Johansson, T. (2012). Volume equations for poplars growing on farmland in Sweden. Scandinavian Journal of Forest Research, 27(6), 561-566. https://doi.org/10.1080/02827581.2012.679678

ILVO. (2026). Belgische beschrijvende rassenlijst voor voedergewassen en groenbedekkers - Korrelmaïsrassen 2026. https://ilvo.vlaanderen.be/uploads/documents/Rassenonderzoek/Rassenoverzicht_tabel_korrelmaïs2026_NL.pdf

Lukaszkiewicz, J., & Kosmala, M. (2008). Determining the Age of Streetside Trees with Diameter at Breast Height-based Multifactorial Model. Arboriculture & Urban Forestry (AUF), 34(3), 137-143. https://doi.org/10.48044/jauf.2008.018

McPherson, E., & Van Doorn, N. (2016). Urban tree database and allometric equations. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35769.98405

Pardon, P., Quataert, P., Bracke, J., Carton, S., Tennstedt, L., Verheyen, K., & Reubens, B. (2025). Crop yield in young temperate alley cropping systems is affected by tree height, distance to trees and crop type, while impacts on crop quality remain limited. Agroforestry Systems, 99(6), 162. https://doi.org/10.1007/s10457-025-01260-2

Pardon, P., Reubens, B., Mertens, J., Verheyen, K., De Frenne, P., De Smet, G., Van Waes, C., & Reheul, D. (2018). Effects of temperate agroforestry on yield and quality of different arable intercrops. Agricultural Systems, 166, 135-151. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.08.008

Schafer, L. J., Lysák, M., & Henriksen, C. B. (2019). Tree layer carbon stock quantification in a temperate food forest: A peri-urban polyculture case study. Urban Forestry & Urban Greening, 45, 126466. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126466

Van Den Berge, S., Vangansbeke, P., Calders, K., Vanneste, T., Baeten, L., Verbeeck, H., Moorthy, S., & Verheyen, K. (2021). Biomass Expansion Factors for Hedgerow-Grown Trees Derived from Terrestrial LiDAR. BioEnergy Research, 14, 1-14. https://doi.org/10.1007/s12155-021-10250-y

Vandenbosch, A. (2024). Fegra-ontvangstvoorwaarden voor oogst 2024. https://www.vegaplan.be/storage/uploads/files/modules/press/1726229719_landbouwleven_04_07_2024_fegra_ontvangstvoorwaarden_voor_oogst_2024.pdf

Vaz Monteiro, M., Levanič, T., & Doick, K. J. (2017). Growth rates of common urban trees in five cities in Great Britain: A dendrochronological evaluation with an emphasis on the impact of climate. Urban Forestry & Urban Greening, 22, 11-23. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.01.003

VLAM. (2013). Aardappel... begraven schat. Retrieved from https://www.vlaanderen.be/vlam/sites/default/files/products/archived/downloads/f52d7e5308155c9.44901634_aardappelen_begraven_schat.pdf

WUR. (2016). Drogestofgehalte : weten wat je mengt en voert. Veehouderij Techniek 19 (1): 8 - 11. https://edepot.wur.nl/368809

Zanne, A. E. L.-G., G.; Coomes, David A.; Ilic, Jugo; Jansen, Steven; Lewis, Simon L.; Miller, Regis B.; Swenson, Nathan G.; Wiemann, Michael C.; Chave, Jerome. (2009). Global wood density database. Dryad. https://doi.org/doi.org/10.5061/dryad.234