



Vlaanderen
is kwaliteitsvolle
omgeving

Optimalisatie koolstof kengetallen in het kader van LULUCF

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever

Toon Denys, secretaris-generaal
Departement Omgeving
Koning Albert-II laan 15 bus 553, 1210 Brussel (postadres)
vlaanderen.be/omgeving

Een uitgave van het Departement Omgeving, Vlaams planbureau voor omgeving
vpo.omgeving@vlaanderen.be

Auteurs

Tom De Dobbelaer, Suzanna Lettens – Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek
Tommy D'Hose – Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek

Publicatiedatum

04/11/2025

Depotnummer

D/2025/3241/392



SAMENVATTING

Dit rapport verkent de optimalisatie van koolstof kengetallen binnen de LULUCF-rapportering in Vlaanderen. De focus ligt op drie verschillende aspecten: levende biomassa in een aantal landgebruikscategorieën, het belang van organische bodems voor koolstofopslag, en koolstofopslag in verhard ruimtebeslag.

Levende biomassa in LULUCF

Momenteel wordt in de LULUCF emissie-inventaris van Vlaanderen enkel rekening gehouden met levende biomassa in bossen. De rol van levende biomassa in akkerland, grasland, wetlands en ruimtebeslag moet echter eveneens in rekening gebracht worden.

Voor akkerland kan de verandering in levende biomassa geschat worden voor meerjarige (houtachtige) gewassen, zoals agroforestry-systemen en houtkanten. De ontwikkelde CARAT-tool (CARbon Agroforestry Tool) kwantificeert koolstofvastlegging in agroforestry in Vlaanderen via allometrische relaties. Voor houtkanten kunnen literatuurwaarden gebruikt worden. Een neurale netwerk detecteert houtachtige elementen op luchtfoto's, wat de basis vormt voor een Tier 2-benadering, maar voor Tier 3 is verdere training nodig voor volumeramingen en soort specifieke allometrische modellen.

In graslanden wordt naast houtige biomassa ook boven- en ondergrondse biomassa onderzocht. Het Derogatiemonitoringnetwerk MAP 5 (2016-2019) leverde grasopbrengstmetingen, zij het met beperkingen door weersomstandigheden en representativiteit. Het GRASSAT-project (2021-2025) gebruikt biomassabepalingen en het LINGRA-gewasgroeimodel, maar mist data over graslandleeftijd en de modellering van mengsels. Hoewel geografische data voor landbouwkundig grasland nauwkeurig zijn, ontbreekt gedetailleerde informatie voor de bepaling van levende biomassa, vooral voor natuurgraslanden.

Voor wetlands is de beschikbare dataset heel beperkt in omvang en geografische spreiding, waardoor het niet mogelijk is betrouwbare uitspraken te doen over koolstofopbouw in (semi-) natuurlijke vegetaties.

Wat ruimtebeslag betreft, ontbreken specifieke studies voor Vlaanderen waarbij bovengrondse biomassa in tuinen effectief werd bepaald. Wel kan bvb. de dataset Gedetailleerd Groen (Digitaal Vlaanderen), die groenelementen in (sub)urbaan gebied in Vlaanderen in kaart bracht, gebruikt worden om de biomassa van bomen, struiken en kruiden in ruimtebeslag in te schatten. Ook kan een diep neurale netwerk, getraind voor houtachtige elementen in landbouwcontext, worden toegepast op bomen en hagen in stedelijke gebieden, waarbij de allometrische modellen in CARAT vaak toepasbaar zijn. Ook voor gras in ruimtebeslag kan gestart worden van de waarden/modellen die gebruikt worden voor landbouwkundig grasland (vb. LINGRA).

Minerale versus organische bodems

De huidige LULUCF-rapportering houdt niet expliciet rekening met organische bodems onder bos en in wetlands, terwijl deze een aanzienlijk hogere koolstofvoorraad kunnen bevatten dan de minerale bodems. De IPCC-definities voor veenbodems zijn licht aangepast voor dit rapport, om te kunnen werken met de beschikbare bodem datasets van INBO. Alle beschikbare data

SUMMARY

This report explores the optimization of carbon factors for LULUCF reporting in Flanders. The focus is on three distinct aspects: living biomass in several land-use categories, the importance of organic soils for carbon storage, and carbon storage in paved settlements.

Living biomass in LULUCF

Currently, the LULUCF emission inventory for Flanders only accounts for living biomass in forests. However, the role of living biomass in cropland, grassland, wetlands, and settlements must also be taken into account.

For cropland, the change in living biomass can be estimated for perennial (woody) crops, such as agroforestry systems and hedgerows. The developed CARAT-tool (CARbon Agroforestry Tool) quantifies carbon sequestration in agroforestry in Flanders via allometric relationships. For hedgerows, literature values can be used. A neural network detects woody elements on aerial photographs, forming the basis for a Tier 2 approach, but further training is needed for Tier 3 for volume estimations and species-specific allometric models.

In grasslands, above- and below-ground biomass is studied in addition to woody biomass. The Derogation Monitoring Network MAP 5 (2016-2019) provided grass yield measurements, albeit with limitations due to weather conditions and representativeness. The GRASSAT project (2021-2025) uses biomass determinations and the LINGRA crop growth model, but lacks data on grassland age and the modelling of mixtures. Although geographical data for agricultural grassland are accurate, detailed information for determining living biomass is missing, especially for natural grasslands.

For wetlands, the available dataset is very limited in size and geographical distribution, making it impossible to make reliable statements about carbon accumulation in (semi-)natural vegetation.

Regarding settlements, there are no specific studies for Flanders where above-ground biomass in gardens was effectively determined. The Detailed Green dataset (Digitaal Vlaanderen), which maps green elements in (sub)urban areas in Flanders, can be used to estimate the biomass of trees, shrubs, and herbs in settlements. A deep neural network, trained for woody elements in an agricultural context, can also be applied to trees and hedges in urban areas, where the allometric models in CARAT are often applicable. For grass in settlements, the values/models used for agricultural grassland (e.g., LINGRA) can be used as a starting point.

Mineral versus organic soils

The current LULUCF reporting does not explicitly account for organic soils under forest and in wetlands, even though these can contain a significantly higher carbon stock than mineral soils. The IPCC definitions for peat soils have been slightly modified for this report to work with the available soil datasets from INBO. This analysis, combining all available data from organic soils, shows that these soils contain significantly more carbon (C) than mineral soils, particularly in the deeper layers (0-100 cm).

The average C stock varies by land-use type, with organic soils showing significantly higher stocks in both forest and open wetlands. Mineral wetland soils also contain high stocks, though lower than the organic soils. There is a need for additional data for mineral wetland soils and organic soils.

The spatial estimation of organic soils can be done using two approaches: the generalized legend "Peat" of the Belgian soil map and the estimation based on the Nature Restoration Regulation (NRR), with the NRR approach yielding a significantly larger area.

For a robust Tier 3 approach, dynamic modelling with region-specific emission factors (comparable to the Netherlands, Germany, and Finland) is required, as well as further specification of the land-use matrix. A pragmatic approach prioritizing emission categories (e.g., organic soils under forest and in wetlands) is recommended. Supplementary research into emissions from Flemish organic soils is crucial, as are decisions regarding the definition and mapping of organic soils.

Carbon storage in paved settlements

Soils under paved settlements have long been a blind spot. The first steps are currently being taken to determine the C stocks of unpaved settlements within the soil carbon monitoring network. However, no figures are available for covered (paved) soils, despite the requirement to report these within LULUCF.

Sampling these soils is challenging from a practical point of view, and the fluxes are determined by diverse processes, as these soils are heavily disturbed during construction and infrastructure works. In the current reporting (0 t C/ha for paved settlements), land-use change towards paving leads to relatively high emissions.

Surrounding countries use different approaches: The Netherlands follows the Tier 1 approach and assumes 80% retention of the former carbon stock under paving. Germany estimates that 11% of the original carbon oxidizes during land-use change to paving. France divides settlements into subcategories with land-specific reference values. Measurements in the literature show that significant carbon stocks can be present under paving.

For a Tier 3 approach, additional research is needed, including measurements after excavation and modelling of carbon evolution in displaced soil. Given the low expected emissions from covered soils, and the low percentage of organic soils under cover in Flanders, the development of a Tier 2 or Tier 3 approach is considered less of a priority. A pragmatic approach, similar to Germany's, with assumptions about losses of organic material during displacement, can be developed in the future.

INHOUDSTAFEL

1	Levende biomassa in LULUCF.....	8
1.1	Inleiding	8
1.2	Akkerland	9
1.2.1	Datasets en allometrische modellen	9
1.2.2	Geografische data	11
1.2.3	Evaluatie	12
1.3	Grasland	12
1.3.1	Datasets en allometrische modellen	12
1.3.2	Geografische data	14
1.3.3	Evaluatie	15
1.4	Wetlands	15
1.5	Ruimtebeslag	16
1.6	Algemene conclusies	17
1.6.1	Methodologie	17
1.6.2	Optimalisaties	19
2	Minerale versus organische bodems.....	21
2.1	Inleiding	21
2.2	Koolstofstocks van minerale versus organische bodems	21
2.2.1	Definities van bodemtypes	21
2.2.2	Geraadpleegde datasets	23
2.2.3	Analyse datasets	24
2.3	Inschatting van organische bodems onder bos en wetlands	25
2.3.1	Inschatting organische bodems in Vlaanderen	25
2.3.2	Voorkomen organische bodems onder bos en wetlands	28
2.4	Doorkijk naar een Tier 2 en TIER 3-benadering	29
2.4.1	TIER 2	29
2.4.2	TIER 3	29
3	Koolstofopslag in verhard ruimtebeslag.....	31
3.1	Inleiding	31
3.2	Aanpak in de buurlanden	31
3.3	Gerapporteerde waarden uit literatuur	33
3.4	Beschikbaarheid datasets in Vlaanderen	35
3.5	Conclusies en doorkijk naar Tier 3	36
	Bijlage 1	37
	Referenties	38

1 LEVENDE BIOMASSA IN LULUCF

1.1 INLEIDING

In de meest recente emissie-inventaris van LULUCF wordt levende biomassa enkel in rekening gebracht in de LULUCF-categorie bos. Er is echter noodzaak om te onderzoeken of levende biomassa in andere LULUCF-categorieën dan bos, namelijk akkerland, grasland, wetlands en ruimtebeslag, een significante rol spelen in de koolstofopslag in deze landgebruiken.

Uit de '2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories' blijkt alvast dat de definitie van levende biomassa varieert naargelang het type landgebruik.

Zo wordt voor **akkerland** de verandering in levende biomassa enkel geschat voor meerjarige (houtachtige) gewassen. Daarbij kan een onderscheid gemaakt worden tussen meerjarige gewassen zoals tijdelijk grasland, gras-klaver, luzerne, ... en houtachtige gewassen in agroforestry systemen en houtkanten. Voor eenjarige gewassen wordt de toename in biomassa gelijkgesteld aan de verliezen in biomassa door oogst in datzelfde jaar. Er is dus geen netto accumulatie van biomassa. Deze aanpak wordt bijvoorbeeld ook in Nederland gehanteerd (Arrets et al. 2022).

Voor **grasland** wordt naast de houtige biomassa in agroforestry systemen ook de boven- en ondergrondse biomassa in kaart gebracht aangezien het type grasland en het uitgeoefende beheer een groot effect kan uitoefenen op de biomassa-accumulatie.

Bij **ruimtebeslag** wordt de biomassa van de meerjarige houtige én kruidachtige (vb. gazon, tuinplanten) bepaald, al wordt de koolstofaccumulatie in de kruidachtige biomassa vaak gelijkgesteld aan nul.

Gedetailleerde, kwantitatieve inschattingen van de bovengrondse biomassa en de hoeveelheid koolstof die wordt opgenomen (NPP) zijn tijdrovend en destructief. Daarom wordt vaak een beroep gedaan op allometrische functies om de biomassa en koolstofstocks in te schatten. Daarbij worden morfologische eigenschappen zoals diameter, hoogte en volume gebruikt om de biomassa van individuele planten, vegetatie of bosbestanden nauwkeurig in te schatten. Er zijn allometrische modellen ontwikkeld voor een groot aantal boomsoorten, habitats en regio's (bijvoorbeeld gedocumenteerd in de GlobAllomeTree-database (<http://www.globalloometree.org/>)). Allometrische modellen kunnen echter ook worden gebruikt voor het schatten van de biomassa van niet-houtachtige planten. Monitoringcampagnes dienen dan opgezet te worden om de gegevens specifiek voor dit doel te verzamelen.

De Tier 2 en Tier 3 methodologie vereisen tevens meer geografisch expliciete data voor het type landgebruik en/of de landgebruiksveranderingen. De standaardklassen kunnen daarbij opgedeeld worden in verschillende subklassen indien er een duidelijk verschil in koolstofopslag (in de levende biomassa) wordt vastgesteld. Hoe uitgebreider en robuuster de dataset om een dergelijke opdeling te verantwoorden, hoe fijner de resolutie van een spatiale stratificatie.

In het kader van deze studie zijn we voor ieder type landgebruik (i.e., akkerland, grasland, ruimtebeslag en wetlands) op zoek gegaan naar (i) bestaande datasets en allometrische modellen om de aanwezige koolstofstocks in de levende biomassa te kunnen inschatten, en (ii)

verschillende, bestaande kaartlagen en andere geografische expliciete data om de oppervlakte aan levende biomassa te begroten. Voor ieder type landgebruik volgt een oplijsting en een evaluatie van de datasets, modellen en de beschikbare geografische data om de hoeveelheid en oppervlakte aan levende biomassa te kunnen inschatten. In een laatste stap wordt tevens de bruikbaarheid van de verzamelde data om een Tier 3 methodologie mogelijk te maken, tegen het licht gehouden.

1.2 AKKERLAND

1.2.1 Datasets en allometrische modellen

1.2.1.1 Agroforestry

Om de grootte en/of het volume van een boom en de bijbehorende koolstofvoorraad in te schatten wordt vaak een beroep gedaan op allometrische relaties op basis van de diameter op borsthoogte (DBH). De tool CARAT (CARbon Agroforestry Tool; CARAT development team, 2023) werd ontwikkeld om deze koolstofvastlegging in agroforestrysystemen in Vlaanderen te kwantificeren. CARAT is toepasbaar op een selectie van hoogstammige boomsoorten die frequent worden aangetroffen in gematigde agroforestrysystemen, en is breed toepasbaar op elk type boomconfiguratie (bv. alley cropping, silvopastorale systemen, enz.). CARAT werd ontwikkeld voor 19 boomsoorten die typisch voorkomen in een agroforestry context en de bijhorende allometrische relaties werden afgeleid uit de literatuur:

- Schafer et al. (2019) met biomassa vergelijkingen voor bomen in voedselbossen;
- McPherson et al. (2016) met volume vergelijkingen voor stadsbomen in de USA;
- Hjelm & Johansson (2012) met volume vergelijkingen voor populieren in Zweden.

Indien voor bepaalde boomsoorten geen allometrische relatie beschikbaar was, werd deze afgeleid van boomsoorten met een gelijkaardige groeisnelheid. Indien enkel een allometrische relatie voor het bovengrondse volume beschikbaar was, werd ook de houtdensiteit opgezocht in de Global Wood Density Database (Zanne et al. 2009). Door de houtdensiteit te vermenigvuldigen met het volume kon dan ook de totale bovengrondse biomassa bepaald worden. Daarnaast biedt CARAT ook de mogelijkheid om gebruik te maken van een 'standaard boomsoort' die werd samengesteld op basis van het gemiddelde van de 19 boomsoorten.

Het koolstofgehalte wordt uiteindelijk bepaald door de totale bovengrondse biomassa te vermenigvuldigen met een factor van 47% (typische waarde gebruikt voor bomen in gematigde bossen; IPCC 2006).

De DBH varieert uiteraard met de leeftijd, waardoor ook een tijdscomponent toegevoegd werd aan de modellen. De relatie tussen DBH en leeftijd is opnieuw boomsoort-specifiek en werd ingeschat door een logistische curve [$DBH = a e^{b \cdot t}$] te fitten aan de ruwe data van vier verschillende studies over bodemsoorten in een stads- en landbouwcontext: Van Den Berge et al. (2021) voor bomen in houtkantverband in Vlaanderen, Lukaszkiwicz & Kosmala (2008) voor stadsbomen in Polen, Monteiro et al. (2017) voor stadsbomen in het Verenigd Koninkrijk, en tenslotte Carton (2022) en Pardon (2018) voor populieren in Vlaanderen. In het kader van de Vlaio LA-trajecten over agroforestry werden ruwe data verzameld (DBH) voor een aantal typische agroforestry boomsoorten. Daarbij werd een relatief grote spreiding waargenomen in de data maar in een zeker mate werd een goede overlap met de voorspelde groeicurve van bvb. populier vastgesteld.

Figure 1 is a scatter plot showing the relationship between DBH (cm) on the x-axis and Biomass carbon stock (Kg/tree) on the y-axis. The x-axis ranges from 0 to 30 cm, and the y-axis ranges from 0 to 250 Kg/tree. A blue quadratic regression line is fitted to the data points, with the equation $y = 0.3821x^2 - 1.6051x + 7.9138$ displayed on the plot.

Daarnaast werd aan de hand van Monteiro et al. (2016) de gemiddelde evolutie van de kroonbreedte voor bovengenoemde bomen berekend wat het mogelijk maakte om de gemiddelde berekende koolstofvoorraad in houtachtige biomassa en de bijhorende toename van bodemorganische koolstof per m² kroonoppervlak uit te drukken (Figuur 2). Zo stemt bvb. een kroonoppervlakte van 20m² overeen met een totale koolstofstock van 100,5 kg die dan opgesplitst worden tussen bodem en houtige biomassa.

0

gerapporteerd (Tier 3). Voor de bovengrondse biomassa worden waarden gerapporteerd gaande van 2,35 t C/ha tot 11,3 t C/ha (German Environment Agency 2024).

Voor het inschatten van de biomassa van meerjarige gewassen zoals gras kunnen we ook een beroep doen op het **GRASSAT (2021-2025)** project waarbij biomassabepalingen afkomstig van praktijk- en proefvelden met landbouwkundig grasland worden gebruikt om het LINGRA gewasgroeimodel (Schapendonk et al. 1998) te kalibreren en valideren. LINGRA is een gevalideerd en toepasbaar mathematisch model rond de groei van gras, dat steunt op satellietbeelden onder praktijkomstandigheden en dat rekening houdt met de regionale weersomstandigheden en vochtvoorziening in de bodem. Het model wordt geïntegreerd in een online platform waar de landbouwers info krijgen over de bemestingsnood in functie van de vraag van het gewas, (potentiële) grasgroei, inschatting van de opbrengst en een indicatie van de graskwaliteit, rekening houdend met het bodemtype en de regionale weersomstandigheden.

Concreet werd de grasgroei opgevolgd (aan de hand van hoogtemetingen) op in totaal 14 percelen; 7 in het oosten van Vlaanderen en 7 in het westen. De percelen werden 3 seizoenen opgevolgd waarbij vanaf het vierde seizoen de parameters opgevolgd werden door middel van satellietbeelden (Sentinel 2). De hoogtemeting geeft een inschatting van de dagelijkse grasgroei na omzetting via een formule. Tijdens het groeiseizoen werd naast de hoogtemetingen de verse grasopbrengst van maai- en graaspercelen ingeschat door wekelijks 1m² uit te maaien tot op maaihoogte (7-8cm). Aan de hand van de Sentinel 2 beelden werden tevens groeicurven opgesteld voor grasland. Deze data werden aangevuld met de opbrengstmetingen die jaarlijks worden gegenereerd door de rassenproeven van ILVO. ILVO voert in opdracht van de Vlaamse Overheid vergelijkende proeven uit met alle rassen van de voedergewassen (o.a. grassen) en groenbedekkers op de Belgische nationale rassenlijst. Jaarlijks worden de resultaten van die proeven (o.a. opbrengstdata) gepubliceerd in beschrijvende en aanbevelende rassenlijsten. De proeven worden aangelegd op praktijkbedrijven en bij onderzoekingscentra en zijn specifiek voor grassen verspreid over de Kempen, de Zandstreek en de Zandleemstreek.

Uit het GRASSAT project kwam naar voor dat het LINGRA model vrij goed in staat was om opbrengstvoorspellingen te doen voor graslanden in Vlaanderen. Het model maakt bij het inschatten van de totale bovengrondse biomassa tevens een onderscheid tussen de oogstbare fractie, de permanente graszode en de afstervende grasfractie wat het mogelijk maakt om de koolstofopslag in de graszode in te schatten. Toch kent het model ook een aantal belangrijke tekortkomingen. Zo wordt graslandleeftijd niet mee opgenomen wat een belangrijke invloed uitoefent op de koolstofopslag in de stoppel. Ook werd het model enkel gekalibreerd voor monocultuur grasland. Om ook mengsels (met bvb. vlinderbloemigen zoals klover) te kunnen modelleren bleek onvoldoende data aanwezig.

Het gebruik van Sentinel 2 data (vb. LAI) bleek dan weer niet geschikt om een grasgroeicurve op te stellen. Zowel de resolutie in de tijd (vb. geen beelden als er wolken aanwezig zijn) als op het veld (10 bij 10m) bleek niet voldoende nauwkeurig.

1.3.2 Geografische data

Het areaal landbouwkundig grasland is nauwkeurig in kaart gebracht via de landbouwgebruikspcelen. De inventarisatie van deze pcelen gebeurt jaarlijks in kader van de uitbetaling van de (gecofinancierde) Europese landbouwsubsidies en de Vlaamse mestwetgeving. De landbouwgebruikspcelen laten ook toe om een onderscheid te maken tussen verschillende types grasland. Zo zijn er verschillende teeltcodes voor grassen en andere kruidachtige voedergewassen. Het gaat om volgende codes: (9) onverharde landingsbaan of veiligheidszones

1.3.3 Evaluatie

Bovenstaande is ook alleen van toepassing voor landbouwkundige graslanden. Wat de natuurgraslanden betreft (die ook onderdeel zijn van de LULUCF categorie 'Grasland') kunnen we enkel beroep doen op de beperkte dataset uit 1.4 om een inschatting te kunnen maken van de koolstofopbouw in de levende biomassa. Ook een nauwkeurige inschatting van het areaal ontbreekt.

1.4 WETLANDS

pagina 15 van 40

Tabel 1: Jaarlijkse biomassaopbrengst (drogestof, ton/ha) voor verschillende vegetatietypes in (semi-) natuurlijke graslanden en wetlands in Vlaanderen (n = aantal waarnemingen).

Vereenvoudigd vegetatietype (n)	Jaarlijkse biomassaopbrengst (ton/ha)
soortenrijk hooiland (2)	5.39
drassig hooiland (20)	6.56
jonge duinvallei (14)	4.30
kalkrijk duingrasland (21)	3.73
matig voedselrijk grasland (13)	4.76
natte graslanden (5)	6.43
oude duinvallei (6)	6.63
soortenrijk cultuurgrasland (3)	6.03
soortenrijk hooiland (15)	5.67
voedselrijk grasland (14)	6.75
voedselrijk nat grasland (5)	5.60
Blauwgrasland (3)	8.24

Als we kijken naar de ons omliggende landen zien we dat in Frankrijk dezelfde waarde wordt gehanteerd als voor grasland (i.e., 6,3 t C/ha, Citepa, 2024) terwijl bij gebrek aan concrete gegevens in Luxemburg een waarde van 0 t C/ha wordt gehanteerd voor de koolstofopslag in de levende biomassa van wetlands (Ministry of the Environment, Climate and Biodiversity, Luxembourg, December 2023).

1.5 RUIMTEBESLAG

Voor tuinen werden geen specifieke studies gevonden die de bovengrondse biomassa voor Vlaanderen in kaart brengen. In het kader van verschillende onderzoeksprojecten werd het areaal aan tuinen binnen Vlaanderen wel nauwkeurig in kaart gebracht (vb. Dewaelheyns et al. 2014, Sleutel et al. 2020). Ook binnen het Bodemkoolstofmonitoringnetwerk (Cmon, Oorts et al. 2024) wordt met behulp van het landgebruiksbestand de methode om het areaal tuinen te identificeren steeds verder verfijnd.

Het ontbreken van specifieke studies voor ruimtebeslag hoeft niet te betekenen dat er geen inschatting kan gemaakt worden van de koolstofopbouw in de levende biomassa. Zo kan het diep neurale netwerk dat werd getraind voor houtachtige elementen in een landbouwcontext (zie 1.2.2.1) ook getraind worden om bomen en hagen te detecteren in de categorie ruimtebeslag. De allometrische modellen die gebruikt worden in CARAT zijn bovendien vaak afkomstig uit studies met de specifieke focus op bomen in een stadscontext wat de bruikbaarheid in de categorie ruimtebeslag verhoogd. Idem voor gazon waar kan gestart worden van de waarden/modellen die gebruikt worden voor grasland. Zo ook voor Frankrijk waar de waarde van 6,3 t C /ha (Citepa, 2024) wordt gebruikt voor het deel 'gazon en struikgewas' binnen ruimtebeslag.

Daarnaast kan ook een beroep gedaan worden op de dataset Gedetailleerd Groen (Digitaal Vlaanderen). Een hoge resolutie referentiedataset van groenelementen in (sub)urbaan gebied in Vlaanderen op basis van de LiDAR puntenwolk DHMV-II (2013-2015) in combinatie met andere geodata (in casu GRB, groenkaart Vlaanderen). De dataset is gebiedsdekkend voor Vlaanderen en maakt een onderscheid tussen hoog groen (individuele kruin > 3 meter) en laag groen dat samengesteld is uit een struik (alle lage vegetatie tussen 0.7 en 3 meter, niet opgesplitst) en een kruidlaag (alle lagen vegetatie < 0.7 meter op basis van Laag Groen groenkaart). Naar analogie

1.6 ALGEMENE CONCLUSIES

1.6.1 Methodologie

<i>Levende biomassa</i>	Tier 2		Tier 3	
	Landgebruik	C-opslag	Landgebruik	C-opslag
Akkerland				
Agroforestry	-	CARAT/Life CarbonCounts. Link tussen kroonoppervlak en houtige biomassa	AI software LPIS	CARAT/Life CarbonCounts. Link tussen kroonoppervlak en houtige biomassa. Data beschikbaar voor verschillende boomsoorten.
Houtkanten	-	Literatuur. Link tussen hegoppervlak en houtige biomassa. Geen differentiatie beschikbaar naargelang type data	AI software LPIS	-
Meerjarige niet-houtachtige gewassen	Landbouw-gebruikspcelen	Opbrengstgegevens gras/gras-klover	Landbouw-gebruikspcelen	LINGRA gewasgroei model mengsels

2.1 INLEIDING

2.2 KOOLSTOFSTOCKS VAN MINERALE VERSUS ORGANISCHE BODEMS

We overlopen eerst de definities van organische en minerale bodems volgens IPCC. We trachten deze definities zo nauw mogelijk toe te passen op onze datasets. De ingezamelde data heeft echter een andere finaliteit dan IPCC, waardoor we om praktische redenen toch licht moeten afwijken van deze definities. Dit lichten we hieronder toe.

Organische bodems ontwikkelen zich wanneer de afbraak van organisch materiaal trager is dan de opbouw. Dit is voornamelijk in natte situaties en onder anoxische (zuurstofloze-zuurstofarme) condities. In het IPCC rapport wordt verwezen naar FAO (1998) dat stelt dat een organische bodem aan voorwaarde 1 & 2 of voorwaarde 1 & 3 moet voldoen:

- De nadruk bij IPCC ligt op het % organische koolstof in relatie tot het kleipercentage en de waterverzadiging. Deze definitie is dus vrij complex, en over het algemeen wordt de voorkeur gegeven aan de WRB definitie, waar organische bodems voornamelijk als histosols worden

geclassificeerd, en de nadruk in de definiëring meer op de dikte van de organische laag wordt gelegd (IUSS, 2022):

1. De organische laag begint op ≤ 40 cm van het bodemoppervlak en heeft binnen ≤ 100 cm van het oppervlak een totale dikte van:
 - a. ≥ 60 cm, als $\geq 75\%$ van het materiaal uit mosvezels bestaat;
 - b. ≥ 40 cm in alle andere materialen.
2. De organische laag begint aan het bodemoppervlak en heeft een dikte van ≥ 10 cm, en ligt direct boven doorlopend gesteente of hard, door menselijk handelen ontstaan materiaal ('technic material')
3. Een laag van grof materiaal, die samen met bovenliggende organische laag, begint bij het oppervlak met een totale dikte van:
 - a. ≥ 10 cm, indien direct boven doorlopend gesteente of hard, door menselijk handelen ontstaan materiaal ('technic material'); of
 - b. ≥ 40 cm;en de open ruimtes tussen het grof materiaal zijn grotendeels opgevuld met organisch materiaal, of zijn leeg.

Bij de opmaak van de Belgische bodemkaart werd een veenbodem gedefinieerd als een bodem die bestaat uit een bruinzwarte oppervlaktelaag van ten minste 30 cm dik met meer dan 30% organische stof.

Omdat de beschikbare datasets binnen deze oefening de 0-30 cm laag (onderverdeeld in 0-10 cm en 10-30 cm) en de 0-100 cm laag (onderverdeeld in 30-60 cm en 60-100 cm) bemonsteren, hanteren we een pragmatische aanpak met aangepaste definitie voor organische bodems, dit om de beschikbare datasets optimaal te kunnen benutten.

Een locatie wordt als organisch geclassificeerd indien deze voldoet aan één van de volgende criteria, op basis van het koolstofgehalte (%C) in de verschillende bodemlagen:

- De locatie heeft meer dan 15% koolstof in de 0-10 cm of 10-30 cm laag én meer dan 10% in minstens één andere laag (die niet noodzakelijk aansluitend is); of
- De locatie heeft meer dan 15% koolstof in de 30-60 cm laag.

Hierbij wordt rekening gehouden met zowel het % koolstof als het starten van de organische diepte binnen een zekere afstand van het maaiveld. De voorwaarden zijn iets minder streng dan deze van FAO, WRB of Belgische bodemkaart. We spreken daarom steeds van 'organische bodems' en niet van 'veenbodems'. Een dergelijk onderscheid wordt ook door sommige buurlanden gemaakt. Zo maakt Nederland in zijn nationale emissie inventaris onderscheid tussen echte veenbodems of histosols enerzijds, en 'moerige bodems' anderzijds. De eerste moeten een veenlaag bevatten van minstens 40 cm dik in de bovenste 120 cm bodem, terwijl de tweede slechts 5-40 cm veen moeten bevatten in de bovenste 80 cm bodem.

2.2.1.2 Minerale bodems

Minerale bodems zijn alle andere bodemtypen en hebben doorgaans een relatief laag gehalte aan organisch materiaal. Ze komen voor in matig tot goed gedraineerde omstandigheden (IPCC 2006).

2.2.2 Geraadpleegde datasets

Op basis van beschikbare terreinmetingen werd een schatting gemaakt van de koolstofvoorraad in organische bodems onder bos en in wetlands. Hiervoor werden gegevens gebruikt van verschillende bronnen (zie bijlage 1 voor meer informatie over de onderzoeksprojecten):

- Cmon: Bodemkoolstofmonitoring netwerk (Oorts et al., 2024);
- Hotspots: C Hotspots project (Truyers et al., 2019);
- Recarbon: Belspo project “Restoring carbon sinks in floodplains through different land use practices”
- ForSite: Forest site and soil database of Flanders (De Vos, 2009);
- LI: Level I Bosvitaliteitsmonitoring proefvlakken van ICP Forest (De Vos & Cools, 2011)

Aanvullend werden gegevens uit gebieden van De Vlaamse Waterweg (DVW) geraadpleegd om een vergelijking te maken met minerale bodems in wetlands. Voor de eenvoud beschouwen we al deze door DVW beheerde bodems als wetland bodems, ook al kunnen deze onder verschillende types landgebruik vallen. Een overzicht van het aantal observaties minerale of organische bodem per project is weergegeven in Tabel 2. In totaal zijn er voor de minerale bodems 276 observaties beschikbaar, voor organische bodems zijn dit 46 observaties. Voor iedere locatie is een berekende koolstofstock beschikbaar van de 0-30cm laag en de 0-100cm laag.

Tabel 2: Overzicht van het aantal minerale en organische bodems binnen elk project (voor meer informatie omtrent deze onderzoeksprojecten, zie bijlage 1).

Project	Minerale bodem - wetland	Organische bodem - wetland	Organische bodem - bos
Cmon	8	3	2
DVW	179	-	2
Hotspots	9	2	-
Recarbon	80	16	15
ForSite	-	2	-
HNPB	-	1	-
LI	-	3	-
Totaal	276	27	19

De landgebruiksvormen uit bovenstaande datasets zijn vereenvoudigd tot twee hoofdcategorieën:

- **Bossen:** deze categorie omvat alluviaal bos, naaldbos, loofbos, populierenaanplant en andere bostypes.
- **Wetlands:** dit zijn gebieden die gedurende het hele of een deel van het jaar met water zijn bedekt of verzadigd. Ze bevinden zich vaak in valleien, zoals beekvalleien, gecontroleerd gereduceerd getij gebieden, gecontroleerde overstromingsgebieden, slikken, schorren en ontpolderde gebieden. Deze locaties omvatten diverse open landgebruiken zoals permanent grasland, open natuur, slikken en schorren, akkers, water en moerassen. Bossen die ook tot de wetlands behoren nemen we niet mee, deze zitten reeds in de landgebruiksvorm “bossen” vervat. Verder in de tekst zullen we steeds van open wetlands spreken.

2.2.3 Analyse datasets

Er werd een verkennende analyse uitgevoerd op de beschikbare datasets binnen INBO. Hierbij werd een onderscheid gemaakt tussen organische bodems binnen wetland, minerale bodems binnen wetland en organische bodems onder bos. Minerale bodems onder bos werden niet bekeken omdat deze reeds vervat zitten in het C-mon bodemkoolstofmonitoringsmeetnet. Deze bodems bevatten gemiddeld 81 t C/ha (Oorts et al., in voorbereiding). Tabel 3 bevat gemiddeldes, minima en maxima. Dit zijn indicatieve waarden, aangezien deze gebaseerd zijn op uiteenlopende onderzoeksprojecten, en niet op een representatieve staalname.

Minerale bodems binnen wetland

De gemiddelde SOC-voorraad in de bovenste 30 cm van de minerale wetlands bedraagt 100 ton per hectare (t/ha), met een bereik van 23 tot 262 t/ha. Over een diepte van 1 meter is de gemiddelde SOC-voorraad aanzienlijk hoger, namelijk 245 t/ha, met waarden tussen 44 en 674 t/ha. Uit deze cijfers blijkt dat ongeveer 40% van de totale koolstofvoorraad zich in de bovenste 30 cm van minerale bodems bevindt. Deze waarden liggen dicht bij de gerapporteerde waarden voor Brussel en Wallonië in het National Inventory Document van België 2025 (Tabel 4), maar zijn wel hoger dan de waarde die Vlaanderen rapporteert voor wetland bodems (87 t C/ha). Het Cmon meetnet schuift een waarde van 128 t C/ha naar voor voor wetlands in 0-30cm.

Organische bodems binnen wetland

De SOC-voorraad in de wetlands met organische bodems is nog hoger. De gemiddelde voorraad in de 0-30 cm laag is 186 t/ha (variërend van 57 tot 391 t/ha). De voorraad tot een diepte van 1 meter bedraagt gemiddeld 602 t/ha, met een bereik van 154 tot 1217 t/ha. Hieruit volgt dat slechts 31% van de koolstofvoorraad van organische bodems in de bovenste 30 cm is opgeslagen.

Organische bodems binnen bos

De gemiddelde SOC-voorraad onder bos bedraagt 170 t/ha voor de 0-30cm laag en 545 t/ha voor de 0-100 cm laag.

De resultaten wijzen erop dat het voor de LULUCF rapportering van belang kan zijn om een onderscheid te maken tussen minerale en organische bodems, zowel in wetlands als in bossen. De koolstofvoorraad in organische bodems is over de gehele diepte aanzienlijk groter dan in minerale bodems. De verdeling van de koolstof over de diepte verschilt ook: bij minerale bodems bevindt een groter aandeel zich aan de oppervlakte, terwijl bij organische bodems de koolstof verspreid zit over de gehele organische laag, die doorgaans groter is dan 30cm. Dit benadrukt het belang van het hanteren van de 0-100 cm diepte voor de LULUCF-rapportage. Er is ook nood aan bijkomende data aangaande minerale wetland bodems. Het Cmon meetnet bemonsterde na 4 jaar 990 locaties, waarvan 10 gelegen in wetland. Dit wijst erop dat een extra meetinspanning nodig is om een representatieve C stock van deze bodems te berekenen.

Tabel 3: Minimum, maximum en gemiddelde koolstofstocks (t C/ha) voor minerale en organische bodems in de 0-30cm laag en de 0-100cm laag.

Categorie	Gem. SOC 0-30cm	min-max	Gem. SOC 0-100cm	min-max	Aantal waarnemingen
bos (organische bodem)	170	103 - 243	545	310 - 779	19
wetland (organische bodem)	186	57 - 391	602	154 - 1217	27
wetland (minerale bodem)	100	23 - 262	245	44 - 674	278

Tabel 4: Gemiddelde koolstofstock voor alle minerale bodems in Wallonië en het Brussels Hoofdstedelijk gewest versus Vlaanderen (t C/ha, 0-30cm, gerapporteerd in de NID, 2025).

Carbon stocks in soil (t C/ha)	Brussel-Wallonië	Vlaanderen
Forest Land	110	84
Cropland	51	61
Grassland	89	83
Wetlands	100	87
Settlements (unsealed)	51	76

2.3 INSCHATTING VAN ORGANISCHE BODEMS ONDER BOS EN WETLANDS

2.3.1 Inschatting organische bodems in Vlaanderen

Voor de ruimtelijke inschatting van organische bodems onder bos en wetlands hanteren we twee benaderingen:

1. De gegeneraliseerde legende “Veen”, de bodems met V-textuur binnen het morfogenetisch classificatiesysteem van de Belgische bodemkaart (Van Ranst & Sys, 2000).
2. De inschatting van veenbodems in functie van de Natuurherstelverordening (NHV) (Wouters, 2025) met een focus op natuurherstel.

De tweede benadering is een ruimere interpretatie van de Belgische bodemkaart, waarbij aan volgende criteria voldaan moet worden (naar Wouters, 2025):

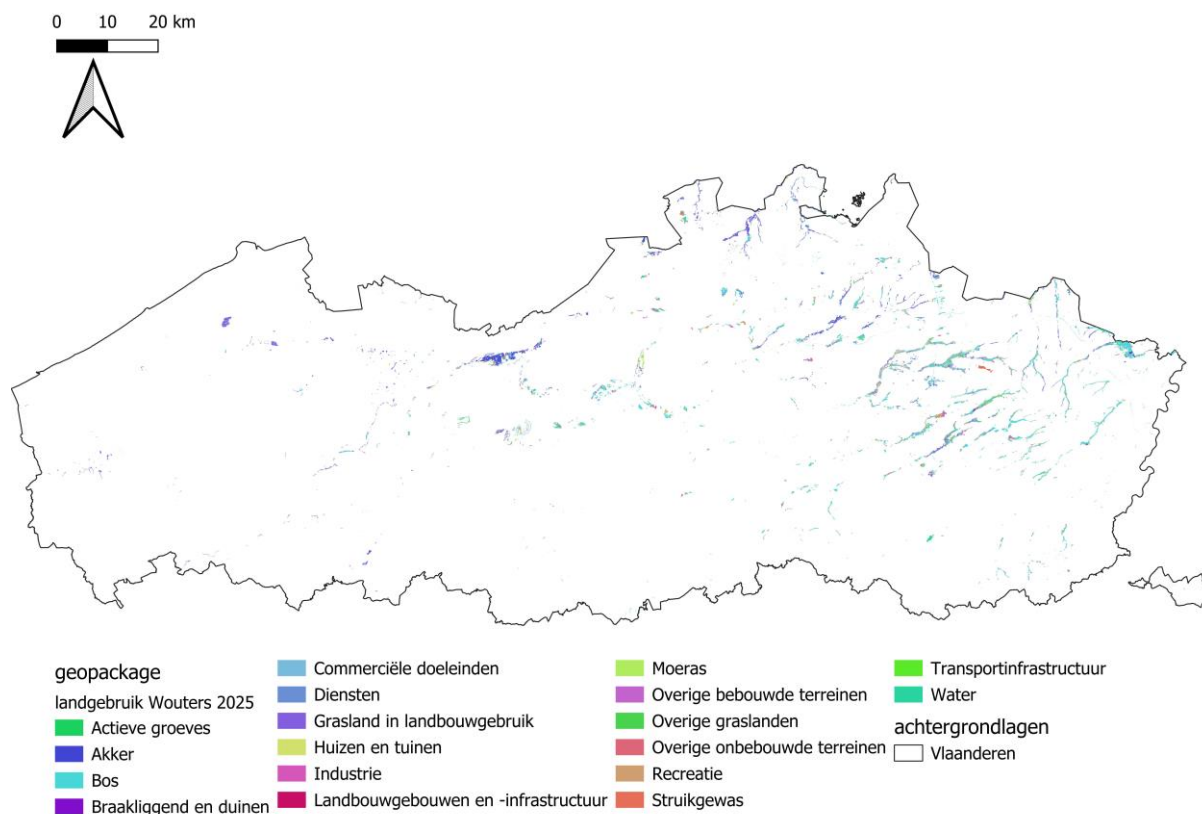
- Locaties op de Belgische bodemkaart met een veenbodem. We onderscheiden hierin bodems met veen aan de oppervlakte ('oppervlakteveen') en met een minerale toplaag van geringe (30-40 cm) dikte ('ondiep veen').
 - oppervlakteveen:
 - Morfogenetisch systeem: bodems met een V-textuur, inclusief bodems met veenbijnmenging (<30 % organische stof) of met een oppervlakkige (<40 cm) veenlaag
 - Kuststreek: (restrictieve) interpretatie volgens Swinnen *et al.* (2023)
 - ondiep veen:
 - Morfogenetisch systeem: bodems met een veen-substraat op minder dan 75 cm diepte
 - Kuststreek: (restrictieve) interpretatie volgens Swinnen *et al.* (2023)

Deze selectie wordt verder aangevuld met informatie uit de Veenwaarschijnlijkheidskaart volgens onderstaande criteria:

- Locaties op de veenwaarschijnlijkheidskaart ‘oppervlakteveen’ (Swinnen *et al.*, 2023) die behoren tot de klassen 4 tot en met 6 en die op de historische landgebruikskaarten van 1873 (De Keersmaeker *et al.*, 2024) én 1969 (De Keersmaeker *et al.*, 2024) een *mogelijk tot waarschijnlijk* veen-compatibel landgebruik kennen.
- oppervlakteveen:
 - beperkt tot de veenlocaties op de hoge resolutie-kaart veenwaarschijnlijkheidskaart voor oppervlakkig veen
- ondiep veen:

- Het eindresultaat van beide benaderingen wordt vergeleken in Tabel 5. In deze tabel werd een koppeling gemaakt met de Landgebruiksk kaart toestand 2022 (Poelmans et al. 2023). Figuur 4 (restrictieve benadering) en Figuur 5 (benadering Wouters, 2025) tonen het eindresultaat op kaart.





Figuur 5. Areaal veen met landgebruik volgens de benadering van Wouters, 2025.

Tabel 5: Inschatting van organische bodems op basis van restrictieve benadering bodemkaart en Wouters (2025).

label (categorieën landgebruikskaat)	restrictieve benadering bodemkaart (ha)	benadering Wouters 2025 (ha)
Huizen en tuinen	64	347
Industrie	119	459
Commerciële doeleinden	7	36
Diensten	18	65
Transportinfrastructuur	120	557
Recreatie	449	1324
Landbouwgebouwen en - infrastructuur	2	29
Overige bebouwde terreinen	58	191
Overige onbebouwde terreinen	89	356
Actieve groeves	2	10
Bos	2822	7324
Akker	275	2195
Grasland in landbouwgebruik	967	4524
Struikgewas	308	1078
Braakliggend en duinen	8	53
Water	452	1975
Moeras	172	533
Overige graslanden	372	1308
Totaal	6306	22363

De vergelijking van beide benaderingen toont aan dat, afhankelijk van de definiëring van organische bodem en het aantal gebruikte bronnen, een aanzienlijke range van het areaal optreedt. De benadering met de bodemkaart die louter op de textuurklasse “V” berust, resulteert

2.3.2 Voorkomen organische bodems onder bos en wetlands

De landgebruikskaart is minder bruikbaar om het aandeel open wetlands (volgens ecologische definiëring) in te schatten, omdat deze verspreid voorkomen onder verschillende categorieën van de landgebruikskaart. We hanteren hier een alternatieve benadering, waar we een kruising maken met de open wetlands volgens de actuele wetlandskaart naar Decler et al. (2016). Deze kaart onderzoekt waar er in Vlaanderen wetlands voorkomen over alle landgebruiken heen. De voorkomende categorieën worden weergegeven in Tabel 6. Samengevat levert de restrictieve benadering 486 ha open wetlands op terwijl de benadering van Wouters (2025) 2668 ha wetlands oplevert.

Tabel 6: Oppervlakteaandeel per wetland categorie wetlandskaart.

Categorie actuele wetlandkaart	Restrictieve benadering bodemkaart (ha)	Wouter s 2025 (ha)	bos (wet-land)	open wet-land	open water	ander
permwet: permanent natte bodems (meso-eutroof) bebost	821	1576	x			
tempwet: tijdelijk natte bodems (meso-eutroof) zonder actueel wetland habitat (bebost)	849	786				x
tempwet: tijdelijk natte bodems (meso-eutroof) met actueel wetland habitat (bebost)	655	1601	x			
tempwet: tijdelijk natte bodems (oligotroof) bebost	30	84	x			
permwet: permanent natte bodems (oligotroof) bebost	64	124	x			
tempwet: tijdelijk natte bodems (meso-eutroof) met actueel wetland habitat (niet-bebost)	210	1776		x		
permwet: permanent natte bodems (oligotroof) niet-bebost	15	147		x		
tempwet: tijdelijk natte bodems (oligotroof) niet-bebost	12	93		x		

pagina 28 van 40

permwet: permanent natte bodems (meso-eutroof) niet-bebost	249	648		x		
tempwet: tijdelijk natte bodems (meso-eutroof) zonder actueel wetland habitat (niet-bebost)	172	763				x
getijdegebied (niet-bebost)	-	4		x		
ondiep water (eutroof)	378	1010			x	
waterloop	665	2875			x	
diep water	13	184			x	
ondiep water (oligo-mesotroof)	26	312			x	
niet nat ²	2005	9816				x
stedelijk	139	552				x
totaal	6302	22350				

2.4 DOORKIJK NAAR EEN TIER 2 EN TIER 3-BENADERING

2.4.1 TIER 2

Voor een Tier 2 benadering is het aangewezen om met regiospecifieke koolstofstocks te werken. Hierbij is het belangrijk om een onderscheid te maken tussen de minerale en organische bodems en de verschillende vormen landgebruik. Hiervoor kan enerzijds beroep gedaan worden op het Cmon bodemkoolstofmonitoringsnetwerk. Anderzijds merken we op dat gegevens over organische bodems beperkt beschikbaar zijn. Een gerichte meetcampagne, kan hier meer inzicht verwerven, maar ook enkele synergiën opleveren: het valideren van de veenwaarschijnlijkheidskaart, veenkwaliteitsbepalingen en gerichte veenkarteringen voor ecohydrologische studies en de NHV. Op INBO loopt een pilootproject voor de karakterisatie en evaluatie van veengebieden. De bruikbaarheid van deze dataset voor de berekening van C stocks in veengebieden moet verder geëvalueerd worden.

2.4.2 TIER 3

1. Dynamische modellering en regio-specifieke emissiefactoren

In plaats van enkel statische emissiefactoren te gebruiken, kan een dynamisch model gehanteerd worden voor Vlaanderen. Een vergelijkbare aanpak vindt bijvoorbeeld plaats in de NIR-rapportages van Nederland, Duitsland en Finland. Nederland gebruikt voor minerale bodems het RothC-model en voor organische bodems (veenweidegebied) het SOMERS-model (Subsurface Organic Matter Emission Registration System). Het model houdt rekening met het weer en het bodembeheer, zoals de verlaging van de grondwaterstand.

Duitsland en Finland maken gebruik van het dynamische Yasso07-model om koolstofveranderingen in organische bodems in te schatten. Het model houdt o.a. rekening meer dan 20 parameters gerelateerd aan klimaat, decompositie en input van strooisel.

Landen zoals Duitsland en Frankrijk werken voor methaanemissies met landspecifieke emissiefactoren. Deze factoren zijn afhankelijk van o.a. landgebruik en organische

² niet nat: geen natte bodems volgens de wetlandkaart, dit kan wijzen op een verdroogde organische bodem. De landgebruiksvormen worden hier niet verder gespecificeerd.

bodemdiepte. In Nederland wordt rekening gehouden met methaanemissies uit drainagegrachten. Dit vereist landspecifieke gegevens in hoge resolutie.

2. Verdere specificering landgebruiksmatrix

Een gedetailleerde, landspecifieke gegevensverzameling is essentieel voor een Tier 3-aanpak. Deze matrix zou de veranderingen in landgebruik (bijvoorbeeld van landbouw naar wetland) in kaart moeten brengen. Het Landgebruiksbestand (versie 2022, Poelmans et al., 2023) zou gebruikt kunnen worden voor de huidige situatie. We pleiten echter voor het verder specificeren van de categorie wetlands. Momenteel bevat deze categorie voornamelijk open water, wat niet overeenkomt met de wetlanddefinitie van o.a. Ramsar. Er zou een onderscheid moeten komen tussen open water en veengebied. Bovendien moet rekening gehouden worden met de effecten van watermanagement op de degradatiestatus van organische bodems, in het bijzonder de grondwaterstanden. De aanpak van Frankrijk om herstelde vernaate veengebieden apart te rapporteren, toont ook het belang aan van het integreren van herstelmaatregelen in de inventarisatie. Momenteel voert VITO het onderzoeksproject “Ruimtelijk expliciet landgebruik in kader van LULUCF” uit in opdracht van het departement Omgeving, en hier wordt onderzocht op welke manier de landgebruiksmatrix verder verfijnd kan worden voor de LULUCF rapportering.

Bijkomend onderzoek naar de emissies uit Vlaamse organische bodems is nodig, zoals bijvoorbeeld in Nederland is gebeurd via het NOBV-programma (Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden). De resultaten van dit onderzoek kunnen worden gebruikt om de parameters van de bestaande modellen te kalibreren en te verifiëren, en om nieuwe emissiefactoren te ontwikkelen. Dit is ook nuttig voor de rapportage van carbon credits onder de recente EU Carbon Removals and Carbon Farming (CRCF) Certification Regulation. Dit vraagt echter een intensieve bijkomende meetinspanning.

3. Pragmatische aanpak en prioritering

Een Tier 3-aanpak is data-intensief, daarom is een pragmatische en realistische aanpak cruciaal. Hierbij kan gewerkt worden met prioritaire categorieën. We stellen voor om vooral nadruk te leggen op de organische bodems met de belangrijkste emissiecategorieën, zoals gedraineerde organische bodems, die naar verwachting de grootste bijdrage leveren.

3 KOOLSTOFOPSLAG IN VERHARD RUIMTEBESLAG

3.1 INLEIDING

Voor het bepalen van de C voorraden in ruimtebeslag waren tot nog toe weinig gegevens beschikbaar. Met de start van het Cmon project komt hier langzaam verandering in. Binnen het Cmon project gebeuren echter geen metingen onder verharde bodems. Deze C voorraden kunnen niet eenvoudig afgeleid worden uit ander landgebruik, aangezien de condities voor deze bodems toch wel uniek zijn. Niet alleen worden ze verstoord (afgegraven, genivelleerd, aanleg van leidingen, ...) net voor het aanbrengen van verharding, maar achteraf zijn ze afgesloten van licht en in veel gevallen ook van instroom van water en organisch materiaal. Dit zal de processen die C afbraak en opbouw bepalen quasi volledig stilleggen. Het is dus niet eenvoudig om tot een schatting van de C voorraden onder verharding te komen. Ook in de buurlanden merken we op dat er geen metingen ter beschikking zijn.

3.2 AANPAK IN DE BUURLANDEN

Momenteel wordt in de nationale inventaris voor België aangenomen dat de koolstofstock onder verhard bodemgebruik gelijk is aan 0 t C/ha. In onverhard ruimtebeslag wordt een gemiddelde C stock van 76.3 t C/ha gerapporteerd, gebaseerd op metingen uit het Vlaamse bodemkoolstofmonitoringnetwerk. Bij gelijkblijvend landgebruik zijn er geen fluxen. Dit is ook in lijn met de door IPCC voorgestelde methodologie. Bij een verandering van landgebruik naar verhard ruimtebeslag, ontstaat er een hoge C emissie.

In de ons omringende landen worden de emissies bij gelijkblijvend landgebruik eveneens 0 verondersteld (Tabel 7). Bij landgebruiksverandering worden er vaak wel fluxen berekend. In Nederland wordt de categorie ruimtebeslag beschouwd als bestaande uit 50% verhard en 50% onverhard oppervlak. Er wordt voor minerale bodems verondersteld dat voor het verharde deel 80% van de voormalige stock behouden blijft, naar analogie van de IPCC richtlijn Tier 1. Voor het niet-afgedekte deel wordt verondersteld dat er geen fluxen optreden, en dat de stocks uit het oorspronkelijk landgebruik dus behouden blijven. Ruimtebeslag dat ruimtebeslag blijft wordt beschouwd als een stabiele SOC-stock. Bij organische bodems onder ruimtebeslag wordt de emissie gelijk gesteld aan emissie onder landbouw. Er wordt een onderscheid gemaakt in emissiefactoren voor veenbodems en venige (moerige) bodems. Deze emissiefactoren zijn een gemiddelde waarde op basis van twee modellen: het SOMERS model (Subsurface Organic Matter Emission Registration System) voor kustveen en het LUSOS model (LULUCF SOMERS Shell) voor veen in het binnenland. Omdat organische bodems onder ruimtebeslag als gedraineerd worden beschouwd, wordt de emissiefactor gelijk gesteld aan landbouw.

In Duitsland schrijft de wet voor dat bij bouwwerkzaamheden de humusrijke toplaag (0-30cm) wordt verwijderd en beschermd opgeslagen. Dus als de toplaag afgegraven wordt bij bouw- of infrastructuurwerken, zal maximaal geprobeerd worden om deze te hergebruiken in de onmiddellijke omgeving van de uitgraving op niet-afgedekte locaties. Ze gaan ervan uit dat tijdens dit proces weinig C verloren gaat. Desondanks is het onvermijdelijk dat het organisch materiaal zal afbreken tijdens het uitgraven, verplaatsen en opnieuw aanbrengen van de bodem door de intensieve beluchting. Deze verstoring versnelt de afbraak van organische stoffen door micro-organismen, wat resulteert in CO₂-uitstoot die in de koolstofbalans moet worden opgenomen. Ze schatten het verlies aan organisch materiaal in op basis van de C voorraad van

Organische bodems onder ruimtebeslag worden verondersteld gedraineerd te zijn. Omdat er geen data voorhanden is van gedraineerde organische bodems worden de emissiefactoren van gedraineerd grasland gebruikt. Een gedetailleerde analyse van organische bodems onder ruimtebeslag toonde aan dat gemiddeld 15% van de organische bodems binnen ruimtebeslag zijn afgedekt (ipv de voordien aangenomen 50%). Hierdoor zijn de emissiefactoren gereduceerd tot 15%. De emissies zijn afgeleid van een responsfunctie op basis een dynamische en jaarlijkse geüpdatete kaart van de gemiddelde grondwaterstand, een methodiek die voldoet aan IPCC Tier 3.

- Kale, verharde of artificiële bodems hebben een gemiddelde C voorraad van 30 ton C/ha (waarde bepaald op basis van staalnames);
- zones met gras hebben een C voorraad in de bodem gelijkaardig aan grasland;
- bosrijke bodems hebben een C voorraad in de bodem gelijkaardig aan bosbodems.

Het lijkt er dus op dat België en Vlaanderen momenteel relatief hoge emissies vanuit de bodem in rekening brengt wanneer er een landgebruiksverandering naar een afgedekte bodem optreedt. We zien ook dat de ons omringende landen grotere percelen met als bedekking grasland of bos (bvb in parken of recreatiedomeinen) uit de categorie ruimtebeslag halen en onderbrengen in de respectievelijke hoofdcategorieën. Voor de resterende oppervlakte ruimtebeslag hanteren ze dan gemiddelde proporties verhard/onverhard binnen ruimtebeslag. In Duitsland en Nederland wordt een duidelijk onderscheidt gemaakt tussen organische en minerale bodems, waarbij de organische bodems worden benaderd vanuit een hoger TIER-niveau waarbij rekening wordt gehouden met drainage.

pagina 32 van 40

Tabel 7. Overzicht methode buitenland en TIER-niveau Ruimtebeslag

	TIER 1	TIER 2	TIER 3	opmerking
Duitsland		X	X	Tier 2 voor minerale bodems en TIER 3 voor organische bodems
Frankrijk		X		Op basis van thesisonderzoek, er wordt geen onderscheid gemaakt tussen minerale en organische bodems
Nederland	X	X		Tier 1 voor minerale bodems en Tier 2 voor organische bodems. (Van Baren et al., 2025)

3.3 GERAPPORTEERDE WAARDEN UIT LITERATUUR

De beschikbare literatuur over koolstofvoorraden onder verharde oppervlakten is momenteel beperkt. Een relevante studie van O’Riordan et al. (2021) richt zich specifiek op de koolstofvoorraad in de bovenste 10 cm van de bodem onmiddellijk onder de verharding (Tabel 8).

De studie onderscheidt twee categorieën bodems: verzegelde antropogene (VA) bodems en verzegelde onverstoorde (VO) bodems. In de VO-bodems is er onder de verharding een minimale bijmenging van antropogene materialen in de bodemlaag. De gerapporteerde waarden zijn samengevat in Tabel 8, waarin tevens een vergelijking wordt gemaakt met resultaten uit andere publicaties. Deze vergelijking brengt echter diverse uitdagingen met zich mee, voornamelijk door de significante verschillen in bodemtypes, gebruikte bouwmaterialen, historisch landgebruik, de specifieke onderzochte dieptes en de toegepaste analysemethoden.

Enkele algemene conclusies die kunnen worden getrokken zijn dat afgedekte bodems minder organische koolstof bevatten dan niet-afgedekte bodems. Dit komt door een beperkte toevoer van nieuwe koolstof (bv. door bladafval) en het verwijderen van de bovengrond tijdens de verharding (Wei et al. 2014). Echter, aangereikte antropogene materialen kunnen koolstofrijk zijn (bvb. houtskool, verwerking van kalksteenpuin en beton) en stabiele koolstofvoorraden met een lange verblijftijd bevatten. Dit is echter veelal onder anorganische vorm en maakt geen deel uit van de LULUCF rapportage (Oriardan et al. 2021).

Tabel 8. Overzicht van C voorraden of C concentraties in afgedekte bodems in de literatuur.

Locatie (Studie/Bron)	Toestand	Gemeten C type + methode	Bodemdiepte	Gerapporteerde C voorraad/concentratie	Notities
Manchester, VK (O'Riordan et al., 2021)	Verzegelde Antropogene (VA) bodem	TC/SOM (TOC analyser/LOI)	0–10 cm	TC ³ : 80,6 ± 46,5 tC/ha SOM: 7,06 ± 3,20 %	Monsters verzameld onder 60-80 cm aan bouwmaterialen; toegeschreven aan antropogene toevoegingen C-rijke materialen (bv. houtskool, beton).
Manchester, VK (O'Riordan et al., 2021)	Verzegelde Onverstoorde (VO) bodem	TC/SOM (LOI)	0–10 cm	TC ⁴ : 31 ± 15,5 tC/ha SOM: 5,00 ± 1,29 %	Hoger dan vele andere gepubliceerde verzegelde C-voorraden, maar lager dan lokale groengebieden (49,2 tC/ha); mogelijk door hoog kleigehalte of transport van opgeloste C.
Nanjing, China (Wei et al., 2014b) (via O'Riordan et al., 2021)	Verzegelde bodem	TOC (W-B)	0–20 cm	23,5 tC/ha	Waarde vermeld in vergelijking door O'Riordan et al. (2021). Waarde lager dan stedelijke groene ruimte (45,2 tC/ha)
New York, VS (Raciti et al., 2012) (via O'Riordan et al., 2021)	Verzegelde bodem	TC (flash combustion)	0–15 cm	22,9 tC/ha	Vertoont een vermindering van 66% vergeleken met lokale groengebieden; waarde vermeld in vergelijking door O'Riordan et al. (2021).
Alabama, VS (Majidzadeh et al., 2017) (via O'Riordan et al., 2021)	Verzegelde bodem	TC (analyser)	0–10 cm	12,5 tC/ha	Vertoont een vermindering van 61,86% vergeleken met lokale groengebieden (33,8 tC/ha); waarde vermeld in vergelijking door O'Riordan et al. (2021).
Leicester, VK (Edmondson et al., 2012)	Verzegelde bodem	OC (analyser/LOI)	40–100 cm	67 tC/ha (95% CI; 60-73 tC/ha)	dragende bodems (verkeerswegen)
Leicester, VK (Edmondson et al., 2012)	verzegelde bodem	OC (analyser/LOI)	15-100 cm	135 tC/ha (95% CI; 123- 149 tC/ha)	niet dragende bodems (voetpaden)

³ waarvan 76%–79% extraheerbare organische koolstof (OC) en 21%–24% extraheerbare inorganische koolstof (IC)

⁴ waarvan 76%–79% extraheerbare organische koolstof (OC) en 21%–24% extraheerbare inorganische koolstof (IC)

3.4 BESCHIKBAARHEID DATASETS IN VLAANDEREN

Het bepalen van koolstofvoorraden onder ruimtebeslag in Vlaanderen is lastig vanwege een gebrek aan specifieke gegevens. Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij (OVAM), een mogelijke leverancier van data, richt zich hoofdzakelijk op het opsporen van bodemverontreiniging, niet op het inventariseren van de bodem onder verharding. Bij het in kaart brengen van vervuilingen wordt vaak pragmatisch gewerkt door te boren op de meest toegankelijke (vaak onverharde) locatie. Hoewel boringen door verharding worden uitgevoerd, zoals kernboringen door beton, worden deze gegevens niet consequent en systematisch vastgelegd. In de databank worden wel de analyseresultaten opgeslagen, maar is er geen informatie over de aanwezigheid van een verharding, of tot welke diepte er eventueel graafwerken werden uitgevoerd. Deze informatie is waarschijnlijk wel terug te vinden in de oorspronkelijke rapporten. Het correct inschatten van de hoeveelheid resterende bodem wordt hierdoor bemoeilijkt.

Het gebruik van de gegevens van OVAM, zoals gerapporteerde C-waarden, wordt verder bemoeilijkt door het feit dat de meetwaarden worden afgetopt, naargelang de geldende min-max-waarde van de normering. Bijvoorbeeld binnen VlAREBO⁵ worden de bodemsaneringsnormen gecorrigeerd voor een gehalte organische stof tussen 1% en 10%. Is het gehalte lager dan 1% of hoger dan 10%, dan wordt het verondersteld gelijk te zijn aan respectievelijk 1% en 10%. De waarden in de OVAM databank kleiner dan 1% of groter dan 10%, worden dus opgeslagen als respectievelijk 1% of 10%. Daarnaast moet worden voldaan aan de GDPR-wetgeving bij het gebruik van deze data, gezien de gegevens XY-coördinaten vaak op privégronden gelegen zijn. Wel volgt OVAM een aantal dossiers van saneringswerken ambtshalve op. Deze zouden kunnen dienstdoen als 'case studies', waar intensieve(re) metingen gebeuren van de ondergrond voor en/of na afgraving.

Het verplaatsen van niet-verontreinigde bodem, of 'grondverzet', wordt niet door OVAM opgevolgd, maar door erkende bodembeheerorganisaties zoals vzw Grondbank of Grondwijzer. Voor uitgegraven bodemmateriële die mogen worden vervoerd of gebruikt, moet een technisch verslag worden opgesteld. Dat is een bodemonderzoek dat opgemaakt wordt door een bodemsaneringsdeskundige. Voor de opmaak van deze verslagen worden eveneens bodemstalen genomen en geanalyseerd. Deze data zijn echter voorlopig niet gestructureerd. Er zijn wel plannen om een 'databank grondverzet' op te maken en hierin gegevens op te slaan, die ook zouden doorstromen naar de Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV) van het Departement Omgeving. Maar ook in dat geval blijft de vraag of deze data bruikbaar zijn. Stalen kunnen genomen worden van hopen grond, in welk geval er dus geen informatie is over de diepte van staalname of de exacte locatie, en er wordt ook geen bulkdensiteit gemeten. Bovendien moeten particulieren die grondwerken laten uitvoeren, geen technisch verslag laten opmaken op voorwaarde dat er in totaal minder dan 250m³ bodemmateriële vrijkomt van een onverdacht terrein. De stalen zijn dus hoofdzakelijk afkomstig van grotere bouw- en infrastructuurprojecten.

Een andere mogelijke bron van gegevens is het Agentschap Wegen en Verkeer (AWV), de Vlaamse overheidsinstantie die verantwoordelijk is voor de wegenbouw, infrastructuur en

⁵ VLAREBO-besluit van 14 december 2007, Besluit van de Vlaamse Regering van 14 december 2007 houdende vaststelling van het Vlaams reglement betreffende de bodemsanering en de bodembescherming.

verkeersveiligheid. Zij nemen bodemstalen voor onderzoek naar de bodemkwaliteit of de stabiliteit van grond voor wegenbouwprojecten.

3.5 CONCLUSIES EN DOORKIJK NAAR TIER 3

In de huidige rapportering wordt de categorie ruimtebeslag momenteel ingedeeld in verhard en niet verhard ruimtebeslag. Voor het niet-verharde deel steunt de rapportering op gedetailleerde metingen afkomstig uit het Cmon meetnet. Bij een volgehouden meetinspanning zal dit in de toekomst tot een volwaardige Tier 3 aanpak leiden via de stock-change methode. Het Cmon meetnet voorziet geen metingen onder verhard ruimtebeslag, en bovenstaande analyse toont aan dat er op dit moment geen metingen gebeuren die geschikt zijn om rechtstreeks te dienen als een aanvullend meetnet. Hiervoor zijn verschillende redenen:

- de metingen focussen op de bodem die afgegraven en verplaatst wordt, niet op de bodem die achterblijft
- het meetnet is niet representatief
- er wordt geen bulk densiteit gemeten
- er worden geen dieptes, en in sommige gevallen geen X,Y coördinaten gemeten
- C metingen worden met onvoldoende nauwkeurigheid bijgehouden (dit zou in de toekomst wel aangepast kunnen worden)
- de metingen worden niet in een databank opgeslagen

Om een correct beeld te krijgen van wat er gebeurt wanneer een bodem afgedekt wordt, moet er opgevolgd worden wat er gebeurt met enerzijds het organisch materiaal in de nog aanwezige bodem onder de verharding; en anderzijds met het organisch materiaal in de afgegraven en verplaatste bodem.

De metingen uit literatuur tonen aan dat er onder verharding nog behoorlijke C voorraden kunnen aanwezig zijn. Het lijkt echter onwaarschijnlijk dat hierin grote veranderingen zullen optreden aangezien het organisch materiaal afgeschermd is van vocht, licht en zuurstof, en ook van verse input van biomassa. De Tier 3 aanpak vraagt echter om intensieve metingen en/of een onderbouwde modelmatige aanpak. Een mogelijke aanpak voor Vlaanderen is om in samenspraak met OVAM, de erkende bodembeheerorganisaties en MOW een aantal locaties te selecteren, en hier gedetailleerde metingen uit te voeren vlak na de afgraving, om zo een beeld te krijgen van de C voorraden onder verharding. Vervolgens kan een modelmatige aanpak een inschatting maken van hoe deze C voorraden evolueren (Tier 3).

Als we de werkwijze van de buurlanden bekijken, dan zien we echter dat een beperkt koolstofverlies wordt ingeschat bij minerale bodems. De koolstofstock worden na afgraving constant geacht en hier volstaat dus een Tier 1 of Tier 2 aanpak. Enkel organische bodems worden als gedraineerd beschouwd onder ruimtebeslag, en hier wordt gestreefd naar Tier 2. Voor Vlaanderen, waar weinig organische bodems voorkomen onder ruimtebeslag (ca. 5% van de organische bodems cfr. Tabel 6), lijkt een hoger tier niveau voor afgedekte bodems minder prioritair.

BIJLAGE 1

Overzicht van de datasets die gebruikt werden in hoofdstuk 2.

- Bodemkoolstofmonitoring netwerk, Cmon (Oorts et al., 2024). Lange termijn meetnet dat de toestand en verandering van bodem koolstof stocks in heel Vlaanderen opvolgt. Samenwerking tussen Departement Omgeving, INBO en ILVO. Gestart in 2021 en lopende.
- Analyse van koolstof-hotspots in Vlaamse Natuurgebieden en het beperken van koolstoflekken door natuurbeheer, C Hotspots (Truyers et al., 2019). Project dat o.a. het voorkomen van koolstof hotspots in ANB gebieden onderzoekt: welke hotspots bestaan er, en kunnen we voorspellen waar ze voorkomen? Samenwerking tussen KULeuven, INBO, Bos+ en PXL Hogeschool. In opdracht van ANB.
- Restoring carbon sinks in floodplains through different land use practices, Recarbon. Belspo project met KULeuven, ULiège en INBO als partners.
- Forest site and soil database of Flanders, ForSite (De Vos, 2009). Onderzoek naar de C stocks in bossen in Vlaanderen op basis van verschillende datasets. Uitgevoerd door INBO.
- Level I Bosvitaliteitsmonitoring proefvlakken van ICP Forest, LI (De Vos & Cools, 2011). Langetermijn onderzoek in Europees meetnet dat de gezondheidstoestand van bossen jaarlijks evalueert, waar ook periodiek bodemstaalnames plaatsvinden.

REFERENCES

- Arets, E. J. M. M., van Baren, S. A., Kramer, H., Lesschen, J. P., & Schelhaas, M. J. (2022). Greenhouse gas reporting for the LULUCF sector in the Netherlands: Methodological background, update 2022. (WOT-technical report; No. 217). WOT Natuur & Milieu. <https://doi.org/10.18174/566478>
- Beirinckx, S., De Mets, L., Mertens, K., Pardon, P., Roggemans, P., Ruyschaert, G. (2023). Report on design and lessons learned for the geospatial information cases mineral soils and woody elements. Deliverable D5 of the LIFE CarbonCounts project, version 31/05/2023.
- CARAT development team (2023). Carbon Agroforestry Tool "CARAT". Koolstofsimulator voor agroforestrypercelen: onderbouwing en handleiding, developed in collaboration by BDB, ILVO and Fornalab, Belgium. 25p.
- Carton (2022). Linking agroforestry design elements to carbon storage in a temperate region: a case study in Flanders, Belgium. WUR & ISARA. 48p. Netherlands.
- De Keersmaecker L., Roggemans P., Ghysels T., Poelmans L., Buskens I., Petermans T., Tallir S. & Van Valckenborgh J. (2024). Digitalisatie van historisch landgebruik en analyse van landgebruiksveranderingen in Vlaanderen (1778-2022): Resultaten van deep learning (AI) beeldclassificatie toegepast op drie historische kaarten. Instituut voor Natuur-en Bosonderzoek Brussel.
https://pureportal.inbo.be/files/103319320/DeKeersmaecker_et_al_2024_DigitalisatieHistorischLandgebruik.pdf.
- De Vos, B. and Cools, N. 2011. Second European Forest Soil Condition Report. Volume I: Results of the BioSoil Soil Survey. INBO.R.2011.35. Research Institute for Nature and Forest, Brussel.
- Declerck K., Wouters J., Jacobs S., Staes J., Spanhove T., Meire P. & van Diggelen R. (2016). Mapping wetland loss and restoration potential in Flanders (Belgium): an ecosystem service perspective. Ecology and Society 21 (4). <https://doi.org/10.5751/ES-08964-210446>.
- Dewaelheyns, V., Rogge, E., Gulinckx H., (2014). Putting domestic gardens on the agenda using empirical spatial data. The case of Flanders. Applied Geography 50, pp. 132-143.
- Drexler, S., Gensior, A., & Don, A. (2021). Carbon sequestration in hedgerow biomass and soil in the temperate climate zone. Regional Environmental Change, 21(74).
- Edmondson, J. L., Davies, Z. G., McHugh, N., Gaston, K. J., and Leake, J. R. (2012). Organic carbon hidden in urban ecosystems, Sci. Rep.-UK, 2, 963. <https://doi.org/10.1038/srep00963>.
- FAO 1998. World reference base for soil resources 1998, World Soil Resources Reports No. 84. Rome.
- 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>

