



Kritische analyse van calculators voor CO₂- compensatie door middel van bosaanleg

Pieters Stijn
Quaghebeur Ward
Ryvers Jonas
Vercleyen Oscar

Promotor: prof. dr. ir. Kris Verheyen

AJ 2014-2015



Auteursrecht

De auteurs en promotor geven toestemming deze scriptie voor consultatie beschikbaar te stellen en delen ervan te kopiëren voor individueel gebruik. Elk ander gebruik, zoals aanhalen van resultaten waarbij de bron niet wordt vermeld, valt onder de beperkingen van het auteursrecht.

5 juni 2015

Pieters Stijn, Quaghebeur Ward, Ryvers Jonas, Vercleyen Oscar

Promotor: prof. dr. ir. Kris Verheyen

Handtekeningen:

Woord vooraf

Eerst en vooral willen wij onze promotor dr. ir. Kris Verheyen bedanken, wegens zijn grote bijdrage in de totstandkoming van deze Bachelorproef. Dankzij hem hebben we dit interessant onderwerp aangeboden gekregen. Tevens was hij telkens beschikbaar om ons via waardevolle feedback de juiste richting aan te duiden en het discours van deze scriptie uit te stippelen. Zonder hem was dit niet mogelijk geweest. Dank daarvoor!

Daarnaast zouden we ook nog dank willen betuigen aan de onderwijsinstelling Universiteit Gent. Dankzij hen kregen we vlotte toegang tot een waterval aan wetenschappelijke informatie en konden we aldus onszelf via deze proef weer een beetje verrijken.

Inhoudsopgave

1.	Inleiding.....	1
2.	Overzicht van de wetenschappelijke literatuur.....	2
2.1.	Koolstofsequestratie d.m.v. bosaanleg	2
2.2.	Stuurvariabelen op de koolstofsequestratie in de levende biomassa	4
2.2.1.	Boomsort	5
2.2.2.	Groeiplaats.....	5
2.2.3.	Bosleeftijd (tijd sinds aanplanting).....	6
2.3.	Stuurvariabelen op de koolstofsequestratie in de bodem	7
2.3.1.	Bostype & boomsoortkeuze	8
2.3.2.	Groeiplaats.....	9
2.3.2.1	Klimaat	9
2.3.2.2	Voormalig landgebruik.....	10
2.3.2.3	Bodemtextuur	12
2.3.3.	Bosleeftijd (tijd sinds aanplanting).....	12
2.4.	Samenvattende tabel: relatief belang stuurvariabelen	14
3.	Analyse bestaande calculators	15
3.3.	Inleiding.....	15
3.4.	Zoekstrategie	15
3.5.	Vergelijkend overzicht	16
3.6.	Bespreking individuele calculators.....	20
3.6.2.	Forest Carbon Group	20
3.6.3.	Prima Klima Weltweit.....	21
3.6.4.	Trees For All	23
3.6.5.	Future Forests	24
3.6.6.	CO-Tree.....	24
3.6.7.	Greenhouse Gas Equivalencies Calculator.....	25
3.7.	Discussie.....	25
4.	Eigen CO ₂ -compensatie calculator	26
5.	Enkele kritische bedenkingen.....	29
6.	Conclusie	30
7.	Referenties.....	31
8.	Appendix	34
8.1.	Figuren	34
8.2.	Tabellen.....	34
8.3.	Extra informatie over deel 2	34

8.3.1	Beheersmaatregelen.....	34
8.3.2	Geschiedenis en voorbereidingswijze van het perceel	35
8.3.3	Interactie tussen de stuurvariabelen.....	36
8.4	Verduidelijking tabel 3.1	36
8.4.1	Berekeningen CO ₂ -compensatie.....	36
8.4.2	Sociaaleconomisch	37
8.4.3	Ecologie.....	38
8.4.4	Gebruiker.....	38
8.5	Certificaten, labels en audits.....	39
8.5.1	CO ₂ -certificaten.....	39
8.5.2	Duurzaam bosbeheer	41
8.5.3	Bedrijfsvoering	41

1. Inleiding

De president van de Verenigde Staten, Barack Obama, wist het onlangs nog te vertellen: ‘Er is vandaag geen grotere dreiging voor onze planeet dan de klimaatverandering’. En niet alleen hij is zich hier van bewust. Zo goed als iedere bewoner van deze planeet die meedraait in de moderne maatschappij – hoe druk hij het ook heeft met de eigen bekommernissen des levens – maakt zich enigszins zorgen om de gevolgen die de opwarming van het klimaat op aarde potentieel kunnen of al reeds teweeg brengen. Sedert de industriële revolutie neemt de concentratie van het broeikasgas koolstofdioxide (CO₂) in de atmosfeer gestaag toe, wat resulteert in een verhoogd broeikaseffect en aldus in een opwarming van het klimaat (IPCC, 2014). Het is deze klimaatopwarming die een ernstige dreiging in zich bergt voor het huidige leven op aarde. Ontelbaar vele zaken waar de mens waarde aan hecht, staan in meer of mindere mate onder druk. Of dit nu het leven van een toekomstige kleinzoon in België of dat van een Afrikaans meisje vluchtend voor de oprukkende droogte in haar thuisland is, of dit nu het uitsterven van één of andere wonderbaarlijke diersoort of het geleidelijk aan verdwijnen van een uitgestrekt natuurgebied is, het is eigen aan de mens – kuddebeest als hij is – om hier voor te voelen. En het is dan ook de sterkte van de algehele mensengemeenschap – hoezeer er ook getwijfeld kan worden of die wel voldoende is – om deze voor de mens erg waardevolle dingen pogen te redden. Zo worden overal ter wereld maatregelen getroffen die de ernstige toename van de atmosferische CO₂-concentratie trachten in te perken. Hierbij wordt vooral aandacht geschonken aan het reduceren van de immense CO₂-uitstoot. Een andere interessante mogelijkheid biedt zich aan in het voorzien van een koolstof*sink* op aarde die als al dan niet dynamische opslagplaats voor de atmosferische CO₂ fungeert. Daar planten met hun fotosyntheseproses CO₂ uit de lucht kunnen halen, kan een ontwikkelend boscysteem gezien worden als een dergelijke koolstof*sink*. Het uitbreiden van het wereldwijde bosareaal kan aldus als tool gebruikt worden in het trachten bedwingen van het verhoogde broeikaseffect (Watson et al., 2000).

Heel wat organisaties als CO-Tree en Trees for All hebben deze gedachtegang gecommmercialiseerd; ze bieden in ruil voor een bepaalde geldsom hun diensten aan om de CO₂-uitstoot van een persoon of onderneming te compenseren door middel van bosaanleg. Hiervoor gebruiken deze organisaties bepaalde rekenmodules die toelaten te berekenen hoe groot de oppervlakte is die dient bebost te worden om de gegeven CO₂-uitstoot te compenseren. De manier waarop deze compensatieberekeningen gebeuren, varieert echter heel sterk en vaak is de methodologische en wetenschappelijke onderbouwing eerder zwak van aard. Het doel van deze scriptie is dan ook vanuit een wetenschappelijk oogpunt en een kritische ingesteldheid de verschillende compensatiemodules te analyseren en onderling met elkaar te vergelijken. Hiervoor wordt eerst de wetenschappelijke literatuur inzake koolstofsequestratie door middel van bosaanleg bestudeerd. De verscheidene stuurvariabelen die dit proces beïnvloeden worden relatief ten opzichte van elkaar afgewogen en enkele richtwaarden worden vergaard. Met deze kennis in het achterhoofd worden vervolgens een aantal reeds bestaande compensatiemodules doorgelicht naar hun wetenschappelijke relevantie en methodologische onderbouwing. Ten slotte wordt een op grond van de onderzochte wetenschappelijke literatuur zelf ontwikkelde calculator voorgesteld.

2. Overzicht van de wetenschappelijke literatuur

2.1. Koolstofsequestratie d.m.v. bosaanleg

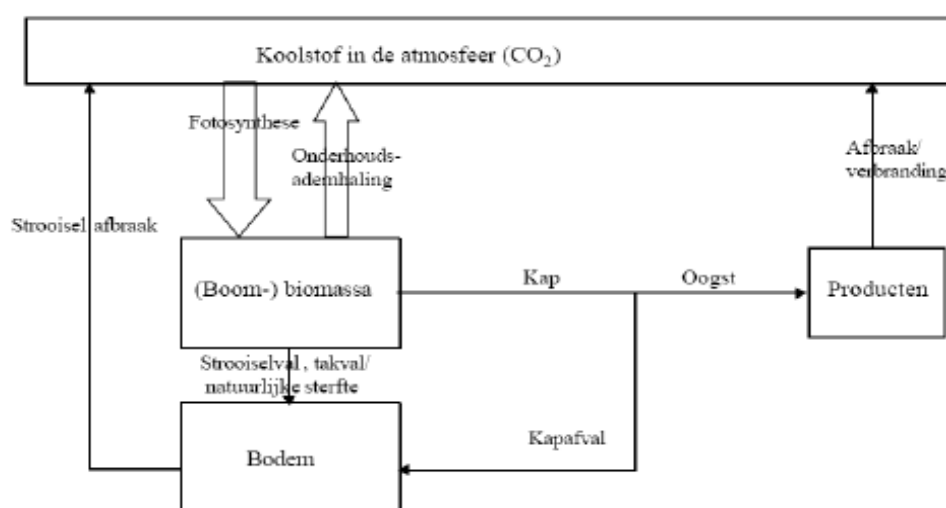
Koolstof is een voor leven essentieel chemisch element, dat in ontelbaar veel gedaantes voorkomt in verschillende pools op aarde. Tussen deze koolstofpools heersen fluxen, die de koolstofvoorraden in de verschillende pools in een dynamisch evenwicht houden (Lorenz & Lal, 2010). Eén van deze pools, de atmosferische, baart de mens de laatste decennia echter grote zorgen. Het broeikasgas koolstofdioxide (CO₂), de vorm waarin koolstof in de atmosfeer voornamelijk voorkomt, neemt immers sedert de industriële revolutie gestaag toe in concentratie. Dit resulteert in een verhoogd broeikas effect en aldus in een opwarming van het klimaat, wat een ernstige bedreiging vormt voor het leven op aarde (IPCC, 2014).

Een mogelijkheid om de toename van de atmosferische koolstofvoorraad in te perken, biedt zich aan in het aanplanten van bosopstanden op niet-bospercelen. Bebossing heeft immers het potentieel om een *sink* voor koolstof te voorzien (Watson et al., 2000). Bomen zetten tijdens het fotosynthesep proces CO₂, samen met water en zonne-energie, om in suikers. De jaarlijkse hoeveelheid suikers die een bosesysteem op deze manier produceert, is de bruto primaire productie (en: *gross primary production*, GPP). De GPP van een bos wordt hoofdzakelijk bepaald door klimaatvariabelen als instraling, temperatuur en neerslag. Een deel van de tijdens fotosynthese geproduceerde suikers wordt door de planten verademd om als energiebron te dienen voor de biologische processen, die zich in de plant afspeelen. Dit is de autotrofe respiratie (R_a). De niet-verbruikte hoeveelheid suikers, aangeduid met de term netto primaire productie (NPP), wordt gesynthetiseerd tot complexere organische moleculen als lignine en cellulose. Zo wordt een deel van de suikers geïnvesteerd in de productie van houtige biomassa en een ander deel gaat naar de productie van fijne wortels, bladeren, bloemen en vruchten. De NPP in een volwassen bos is ruwweg verdeeld als 40% productie van hout en 60% van niet-houtige organen. Deze verdeling is echter sterk afhankelijk van de groeiplaats (Luyssaert et al., 2007). Elk jaar sterft een deel van de levende biomassa af en komt op en in de bodem terecht als dood organisch materiaal. Bodemorganismen breken dit materiaal deels af tot CO₂, een proces dat heterotrofe respiratie (R_h) wordt genoemd, en zetten het deels om in complexe humusmoleculen. Het zijn hoofdzakelijk deze erg stabiele bodemhumusmoleculen die – samen met het hout en de strooisellaag – als de voornaamste opslagplaatsen van koolstof in een bosesysteem optreden. Zoals uit tabel 2.1 kan afgeleid worden, is de totale hoeveelheid koolstof opgeslagen in de bodems van de terrestrische ecosystemen op aarde bij benadering gelijk aan 2011 Gt C, dit ten opzichte van de 466 Gt C aanwezig in de vegetatie. De bodem- tot vegetatiekoolstofstockverhouding varieert van ongeveer 1 in tropische wouden tot 5 in boreale wouden en veel hogere factoren in graslanden en moerassen. Veranderingen in bodemkoolstofhoeveelheden zijn dus zeker ook even belangrijk als veranderingen in vegetatiekoolstofhoeveelheden. Bosesystemen bevatten in hun levende biomassa (stammen, takken, bladeren en wortels) meer dan 75% van de koolstofhoeveelheid opgeslagen in alle terrestrische vegetatie. Bovendien bevatten bosbodems, terwijl slechts 28% van het totale aardoppervlak met bos bedekt is, zo'n 39% van alle koolstof opgeslagen in de bodems op aarde (Bolin en Sukumar, 2000). Aldus is het duidelijk dat bosesystemen een erg belangrijke rol spelen in de globale koolstofbalans.

Tabel 2.1 Globale koolstofstocks in de vegetatie en de bovenste 1 m van bodems van terrestrische ecosystemen (Bolin en Sukumar, 2000).

Biom	Oppervlakte (10 ⁶ km ²)	Koolstofstock (Gt C)		
		Vegetatie	Bodem	Totaal
Tropische wouden	17.6	212	216	428
Gematigde wouden	10.4	59	100	159
Boreale wouden	13.7	88	471	559
Tropische savannes	22.5	66	264	330
Gematigde graslanden	12.5	9	295	304
Woestijnen en halfwoestijnen	45.5	8	191	199
Toendra	9.5	6	121	127
Moerassen	3.5	15	225	240
Akkerlanden	16.0	3	128	131
Totaal	151.2	466	2011	2477

Het jaarlijks verschil tussen de fotosynthetische CO₂-opname (GPP) en de respiratorische CO₂-verliezen (R_a + R_h) wordt de netto ecosysteem productie (NEP) genoemd. De NEP geeft aldus de netto hoeveelheid koolstof weer die jaarlijks door het bos opgeslagen wordt. Wanneer een bos beheerd wordt en hout geoogst wordt, verdwijnt daarentegen een extra hoeveelheid koolstof uit het ecosysteem, die elders na verloop van tijd via decompositie of verbranding weer vrijkomt. De resterende koolstofhoeveelheid die op deze manier door het bos opgeslagen wordt, wordt de netto ecosysteem koolstofbalans (NECB) genoemd (figuur 2.1) (den Ouden et al., 2010).



Figuur 2.1 Koolstofcyclus van een boscysteem. De kaders geven de koolstofvoorraden weer, de pijlen de koolstoffluxen (Bauters et al., 2011; naar Nabuurs et al. 2003).

In vergelijking met de GPP is de NEP in veel mindere mate gevoelig voor klimaatvariabelen en wordt deze eerder beïnvloed door klimaatonafhankelijke factoren als successiestadium, voorgeschiedenis, verstoring en beheer (Luyssaert et al., 2007). Een oud, onverstoord bos heeft een relatief kleine NEP: er

bestaat een dynamisch evenwicht tussen de koolstofpools van atmosfeer en bos. Een net aangeplant bos kent daarentegen een erg variërende koolstofstock. Tijdens de initiële fase na bebossing bevatten de aangeplante bomen nog maar een kleine koolstofhoeveelheid en hebben deze slechts een kleine impact op de bodem. De nalatenschap van het vorige landgebruik in termen van bodemmicrobiële activiteit, fysieke bodemkarakteristieken, nutriëntenbeschikbaarheid, ... speelt tijdens deze fase een meer belangrijke rol. Daar de microbiële activiteit veelal verhoogt na bebossing van landbouwland, zal de koolstofhoeveelheid in de bodem – en dus ook in het gehele ecosysteem – over het algemeen de eerste decennia na bebossing afnemen t.o.v. de oorspronkelijke koolstofhoeveelheid (Bárcena et al., 2014). Naarmate het bos ontwikkelt, zullen de bomen meer koolstof sequestreren en sterker groeien in volume. Dit geeft naast een toename van de koolstofhoeveelheid in de levende biomassa ook een verhoogde inbreng van koolstof in de bodem via dood organisch materiaal als gevolg.

Een significante toename van de ecosysteemkoolstofvoorraad is pas – wanneer het initiële koolstofverlies volledig gecompenseerd is – een aantal jaar na bebossing detecteerbaar (sterk afhankelijk van de groeisnelheid van de aangeplante bomen). Voor de koolstofstock in de bodem vindt een toename zelfs pas 20 à 30 jaar na bebossing plaats (Paul et al., 2002; Laganière et al., 2010). Deze toename zet zich vaak gedurende een erg grote tijdspanne verder tot een evenwichtssituatie tussen de koolstofpools van atmosfeer en bosesysteem wordt bereikt. Deze lange evolutie komt voornamelijk doordat de bodemkoolstofstock nog gedurende eeuwen kan aangroeien. Er werd tot dusver echter bijster weinig onderzoek uitgevoerd naar de totale hoeveelheid koolstof die gedurende dit grote tijdsvenster netto door een bosesysteem wordt opgeslagen. Gezien dergelijk tijdsvenster ook buiten het bereik van deze scriptie valt, zal eerder gekeken worden naar de netto koolstofsequestratie op korte termijn. Praktisch betekent dit het vergelijken van de oorspronkelijke koolstofhoeveelheid met die ongeveer 30 jaar na bebossing (Bárcena et al., 2014).

2.2. Stuurvariabelen op de koolstofsequestratie in de levende biomassa

De koolstofhoeveelheid die opgeslagen wordt in een bosesysteem, is voor een aanzienlijk deel te wijten aan de toename van de levende biomassa, zowel boven- als ondergronds. De omzetting van de tijdens de fotosynthese geproduceerde suikers in structurele biomassa leidt via celdeling en -strekking in de meristeenweefsels tot een toename van de boomvolumes in een bestand. Deze volumetoename manifesteert zich zowel in de hoogte, als de diameter van de individuele bomen. De jaarlijkse bovengrondse volumeaanwinst van een opstand wordt aangeduid als de ‘aanwas’ en uitgedrukt in $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ (den Ouden et al., 2010). Deze aanwas kan via bepaalde volumemetingprotocollen of a.d.h.v. specifieke opbrengsttabellen geschat worden en vervolgens omgerekend worden naar de jaarlijkse toename in houtige biomassa door te vermenigvuldigen met de houtdichtheid van de beschouwde boomsoort. De ondergrondse biomassa bedraagt daarnaast bijvoorbeeld typisch 20 à 25 percent van de bovengrondse biomassa. Door deze laatste aldus te vermenigvuldigen met 1,2-1,25 en vervolgens gebruik te maken van een algemeen aangenomen koolstofconversiefactor $\frac{1}{2}$, kan zodoende een degelijke schatting gemaakt worden van de jaarlijkse toename in koolstofhoeveelheid in de levende biomassa. De houtdichtheid, alsook de verhouding van de ondergrondse ten opzichte van de bovengrondse biomassa zijn erg soortspecifiek. Het is dan ook van belang dat bij het uitvoeren van dergelijke berekeningen rekening gehouden wordt met de soortafhankelijkheid van deze parameters.

Opstanden variëren in groeisnelheid – en dus ook in koolstofopslag – afhankelijk van de opstandleeftijd, de beschikbaarheid van groeifactoren als licht, water en nutriënten en de soort en genetische aanleg van de bomen (den Ouden et al., 2010). In wat volgt binnen deze sectie worden deze stuurvariabelen verder toegelicht.

2.2.1. Boomsoort

De volumegroei van een opstand wordt in grote mate bepaald door de genetische aanleg van de aanwezige bomen. De groeisnelheid varieert immers sterk van soort tot soort. Maar niet alleen de snelheid waarmee biomassa wordt geproduceerd is soortafhankelijk, ook de maximaal te bereiken biomassa varieert sterk naargelang de boomsoort. Dit wordt aangetoond met de gegevens in tabel 2.3 van de maximale diameter en hoogte voor een aantal belangrijke boomsoorten in Nederland (Buist et al., 2010; den Ouden et al., 2010)

Tabel 2.3 Maximale diameter en hoogte van een aantal belangrijke boomsoorten, gebaseerd op een lijst van recordbomen in Nederland (Buist et al. 2010).

Soort	Maximale diameter (cm)	Maximale hoogte (m)
Beuk	260	45
Corsicaanse den	170	35
Gewone es	180	43
Fijnspar	110	43
Gewone esdoorn	160	38
Grove den	140	34
Haagbeuk	150	30
Ruwe berk	110	31
Schietwilg	200	35
Taxus	200	22
Wintereik	200	35
Winterlinde	200	32
Zoete kers	110	32
Zomereik	250	41
Zwarte els	100	33
Zwarte populier	200	36

Bovendien worden de afhankelijke groeiplaatsfactoren, zoals in volgende paragraaf beschreven, tevens sterk beïnvloed door de soortensamenstelling van de beschouwde vegetatie. Op deze manier heeft de boomsoort ook een invloed op de opstandgroei.

2.2.2. Groeiplaats

Variaties in milieucondities leiden tot variaties in plantengroei. Er wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen onafhankelijke en afhankelijke groeiplaatsfactoren. Onafhankelijke groeiplaatsfactoren zijn fysische en chemische variabelen die onafhankelijk zijn van het aanwezige ecosysteem. Er treedt geen wisselwerking op met de vegetatie, althans niet op kleine schaal of op korte termijn. Voorbeelden van dergelijke variabelen zijn het klimaat waarin het boscysteem zich bevindt en het moedermateriaal waarin de bodem zich vormt. Afhankelijke groeiplaatsfactoren zijn daarentegen wel afhankelijk van het aanwezige ecosysteem en er treedt dan ook een duidelijke wisselwerking op tussen vegetatie en groeiplaats. Het ontstaan van een microklimaat en de ontwikkeling van de bodem onder invloed van de aard en samenstelling van de vegetatie zijn voorbeelden van zulke afhankelijke groeiplaatsfactoren (den Ouden et al., 2010).

De onafhankelijke en afhankelijke groeiplaatsfactoren bepalen samen de beschikbaarheid van voor de groei erg belangrijke groeifactoren als licht, temperatuur, water en nutriënten (Fanta, 1985).

Klimaat is op globale schaal veruit de belangrijkste groeiplaatsfactor daar deze factor erg bepalend is voor de lengte van het groeiseizoen, de instraling, de temperatuur en de waterbeschikbaarheid voor de boomgroei.

Op een meer regionale schaal, onder relatief homogene klimaatomstandigheden, is de bodem de dominante groeiplaatsfactor. De nutriëntenbeschikbaarheid, de zuurgraad en het vocht leverend vermogen zijn erg belangrijke karakteristieken van de bodem voor de boomgroei. Deze bodemkenmerken worden beïnvloed door een sterke wisselwerking tussen onafhankelijke groeiplaatsfactoren als moedermateriaal en klimaat en de eigenschappen van de vegetatie (den Ouden et al., 2010).

Om een beeld te geven van het belang van de groeiplaats als stuurvariabele op de vegetatiegroei, worden in tabel 2.2 de netto primaire producties van drie bostypes weergegeven (Roy et al., 2001).

Tabel 2.2 Globale netto primaire producties (NPP) van drie bostypes, geschat a.d.h.v. remote sensing data (Roy et al., 2001).

Bioom	NPP (g C m ⁻² j ⁻¹)
Tropische wouden	1600-2200
Gematigde wouden	600-2500
Boreale wouden	800

2.2.3. Bosleeftijd (tijd sinds aanplanting)

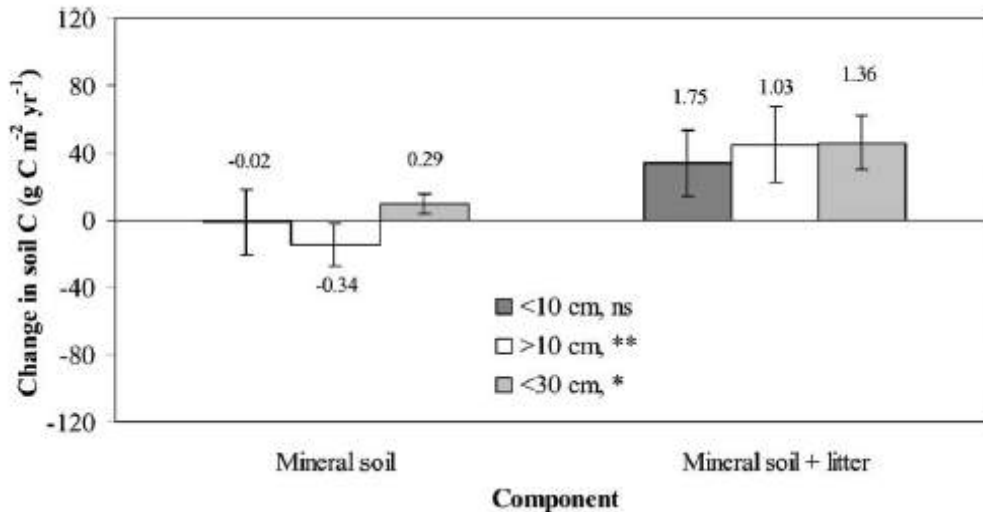
Tijdens de levensloop van een gelijkjarige opstand neemt de volumetoename tijdens de jeugdfase sterk toe, bereikt vervolgens een maximum, het zogenaamde culminatiepunt, en neemt dan langzaam weer af. Deze groeicurve doorheen de tijd is uiteraard sterk soort- en groeiplaatsafhankelijk. Er zijn twee belangrijke verklaringen waarom de jaarlijkse aanwas op latere leeftijd afneemt. Eerst en vooral zal in oudere opstanden de mate van kroonsluiting en dus ook de lichtonderschepping afnemen, waardoor de fotosynthese per oppervlakte-eenheid vermindert. Verder zal de weerstand voor watertransport voor oudere opstanden die hun maximale hoogte bereikt hebben een pak groter zijn dan bij kleinere bomen. Hierdoor zijn bij droogte de bladeren in het kronendak gevoeliger voor watertekorten. Dit resulteert in het sluiten van de huidmondjes en dus een verminderde fotosynthese (den Ouden et al., 2010).

2.3. Stuurvariabelen op de koolstofsequestratie in de bodem

In dit deel wordt de verandering in de organische bodemkoolstoffractie (SOC = Soil Organic Carbon) na het bebossen van een niet-bosperceel beschouwd, waarbij naast algemene trends eveneens aandacht wordt besteed aan twee specifieke casussen. Enerzijds wordt de SOC-verandering na bebossing beschouwd in het gematigde Noord-Europa, anderzijds in de Cerrado-regio, een uitgestrekte tropische savanne in Brazilië. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de term ‘bebossing’ in beide regio’s vaak een andere invulling krijgt omwille van uiteenlopende socio-economische situaties. In Noord-Europa worden percelen vaker bebost omwille van meer ecologische redenen, met economische winst als secundair aspect. Brazilië daarentegen kent de laatste decennia een sterke ontbossing van inheemse vegetatiegebieden om zijn economische groei te ondersteunen. Bebossingsprojecten hebben hier vaker productie van hout tot doel, dat gebruikt wordt voor industrie-, energie- en landbouwdoeleinden. Bebossingsprojecten zijn in de tropen dus vaak gebaseerd op economische motieven, waarin bijgevolg eerder hoogproductieve soorten worden ingezet. De data in deze studie werden gehaald uit een onderzoek (Zinn et al., 2002) dat het SOC-verloop na bebossing op een oorspronkelijke, inheemse vegetatie onderzoekt.

Het belang van SOC is onmiskenbaar in de koolstofbalans. Deze vormt namelijk de grootste en meest stabiele terrestrische koolstofpool. De mate waarin een bosbodem, na bebossing van een niet-bosperceel, koolstof kan sequesteren hangt in grote mate af van een aantal factoren. De factoren, of stuurvariabelen, hebben onder andere betrekking op de geschiedenis van het gebied, de toekomstige beheerplannen en de abiotische en biotische toestand van het beschouwde areaal. Verder in deze sectie worden deze stuurvariabelen elk apart toegelicht.

Daarnaast kan ook nog de vraag gesteld worden of de organische O-horizont/strooisellaag van de bosbodem, die bovenop de minerale bodemlagen ligt, in rekening moet worden gebracht ter berekening van de koolstofvoorraad van het beschouwde bodemsysteem. De koolstof opgeslagen in het afbrekend organisch materiaal, zowel van plantaardige als dierlijke oorsprong, kan echter niet gerekend worden tot de stabiele bodemkoolstofpool, aangezien deze nog gerespireerd en gemineraliseerd kan worden. De strooisellaag is echter een belangrijke, zo niet de belangrijkste, precursor van stabiele SOC. Daarom is het waardevol om deze soms zeer dikke laag in rekening te brengen, ook omdat deze actief deel uitmaakt van het bosecosysteem. Dit wordt in enkele studies en meta-analyses, waaronder deze uitgevoerd door Bárcena et al. (2014), dan ook gedaan. Tevens is het geweten dat de strooisellaag soms grote hoeveelheden koolstof kan bevatten. Zo bevindt 96% van de opgestapelde koolstof na bebossing van een gecultiveerd perceel met *Pinus taeda* L. zich bv. in de strooisellaag (Richter et al., 1999). Het uitsluiten van de O-horizont in de analyse kan dus tot een onvolledig resultaat leiden. In Figuur 2.2 wordt duidelijk weergegeven dat het al dan niet weglaten van de strooisellaag een grote impact kan hebben op de conclusies. In de verdere bespreking wordt de O-horizont enkel opgenomen indien dit expliciet vermeld wordt.



Figuur 2.2: De gewogen gemiddelde SOC-verandering na bebossing, op drie dieptes (<10 cm: linkse, >10 cm, i.e. vanaf een diepte van 10 cm tot een ongespecificeerde diepte: middelste en <30 cm, i.e. alles staalnames die vanaf de toplaag tot dieper dan 10 cm reiken: rechtse balk). Links wordt enkel de minerale bodem beschouwd, rechts de minerale bodem en de strooisellaag. De bars geven de standaardfout van de gemiddelden weer. De cijfers op de plot zijn de gewogen gemiddelde percentages SOC-verandering, in % per jaar. Significantieniveaus: ns = niet significant, * = $P < 0,05$, ** = $P < 0,01$.

Paul et al. (2002) voerden een grootschalige, wereldwijde meta-analyse uit over de SOC-verandering na bebossing. De onderzoekers bekwamen een gewogen gemiddelde van SOC-verandering doorheen de tijd van 0,05% (relatief ten opzichte van het initiële SOC-gehalte) per jaar voor de minerale bodem tot 10 cm diepte, zonder de organische strooisellaag. Ook andere dieptes kenden een SOC-verandering in dezelfde grootteorde. Door dezelfde onderzoekers werd gevonden dat de gemiddelde SOC-verandering (<30 cm, alle data) na bebossing $14,1 \frac{g C}{m^2 * jaar}$ was. Deze veranderingen zijn dus eerder bescheiden in vergelijking met de C-winst door de toename in biomassa na aanplanting. Aan de zuidwestelijke kust van de Verenigde Staten steeg het SOC-gehalte na bebossing met Eik bijvoorbeeld met 2,7 ton C/ha in de eerste 35 jaar, terwijl voor de levende biomassa een stijging van maar liefst 30,6 ton C/ha werd waargenomen over de tijdsspanne. Voor een aanplanting met een Douglasspar-sparrenopstand in de zuidelijke Rocky Mountains werd een stijging van resp. 3,0 en 37,2 ton C/ha in de eerste 35 jaar geschat. Ook hier werd dus een groot verschil van een factor 10 bekomen (Smith et al., 2006).

Over een lange periode wordt algemeen waargenomen dat koolstof zich opstapelt in de bodem na bebossing. Het bekende Rothamsted-experiment (gematigde klimaatzone) vond bijvoorbeeld een accumulatie van bodemkoolstof op voormalig akkerland tussen 34 en $55 \frac{g C}{m^2 * jaar}$ over een periode van maar liefst 100 jaar (Jenkinson, 1971). Dergelijke langetermijnstudies zijn echter zeldzaam.

2.3.1. Bostype & boomsoortkeuze

De aangeplante bomen spelen een rol in de SOC-evolutie van de beboste bodem, aangezien de vegetatie zowel voor een ondergrondse (wortels, wortelharen, ...) als bovengrondse C-input (bladeren, twijgen, takken, ...) zorgt. Dit organisch materiaal wordt zowel fysisch, chemisch als biologisch afgebroken. De afbraaksnelheid van het dood organisch materiaal hangt sterk samen met de kwaliteit van dit materiaal en is dus sterk soortafhankelijk. Algemeen kan gesteld worden dat naaldbomen een strooisel produceren van lagere kwaliteit dan loofbomen, waardoor de bodem verzuurt, de afbraak vertraagd wordt en het organisch materiaal uiteindelijk zal ophopen. Dit geldt voor zowel gematigde als tropische streken,

hoewel de ophoping in gematigde streken vaak extremer is door de minder gunstige afbraakomstandigheden.

Bárcena et al. (2014) onderscheidde in hun meta-analyse drie verschillende bostypes: naaldbos, loofbos en gemengd bos. In de 0-20/30 cm laag van de minerale bodem werd geen significant effect van het bostype op de SOC-voorraad na bebossing gevonden.

Als de strooisellaag op de bosbodem in rekening wordt gebracht, wordt een positief effect op koolstofvoorraden na bebossing in de 0-20/30 cm laag gevonden in alle bostypes. Vooral voor naaldbos is deze stijging (met maar liefst 10% SOC-toename t.o.v. een controleplot) uitdrukkelijk, en de toename wordt zelfs significant. Dit stemt overeen met de kennis dat het strooisel, afkomstig van naaldbomen, van slechtere kwaliteit is, met bodemverzuring, trage strooiselafbraak en een dikke strooisellaag (O-horizont) als gevolg.

Paul et al. (2002), Berthrong et al. (2009) en Laganière et al. (2010) vonden dat de accumulatie van SOC in de minerale bodem na bebossing het hoogst was voor loofbossen. Ook Bárcena et al. (2014) bekwamen een grotere, significant positieve invloed van bebossing met loofbomen dan naaldbomen in de 0-10 cm laag.

Bárcena et al. namen een hogere koolstofopstapeling in de strooisellaag waar in naaldbossen dan in loofbossen en gemengde opstanden. Poeplau et al. (2011) daarentegen vonden geen significant verschil hierin in de gematigde klimaatzone. Deze schijnbare tegenstelling verklaart zich door de sterke accumulatie van strooisel in enkele proefvlakken, gelegen in de (sub)boreale zone, in de studie van Bárcena et al.

2.3.2 Groeiplaats

2.3.2.1 Klimaat

Het aandeel van SOC, ten opzichte van de koolstof vastgelegd in vegetatie, neemt toe met de breedtegraad (Lal, 2005). Dit geeft aan dat het SOC-gehalte gerelateerd is aan het klimaat. In de gematigde en boreale streken speelt SOC zeker een belangrijke rol in de globale balans. In de tropen bevat de bodem relatief gezien minder organische stof door de hoge microbiële decompositie van het organisch materiaal omwille van de hogere temperaturen en vochtgehalten. Desondanks is de SOC-fractie hier van cruciaal belang in de sterk verweerde bodems, gezien deze vaak de basis vormt voor de nodige bodemstructuur (aggregaatvorming) en nutriëntenbeschikbaarheid (Zinn et al., 2002).

Bárcena et al. (2014) onderzochten in hun dataset van Noord-Europa de invloed van verschillende klimaatparameters, namelijk gemiddelde jaarlijkse temperatuur, gemiddelde jaarlijkse neerslag en breedteligging op de SOC-verandering in Noord-Europa. Er werd echter geen duidelijk patroon binnen dit gebied gevonden. De veranderingen in SOC-gehalte gebeurden wel beduidend trager dan eerder bekomen experimentele waarden uit de tropen, gematigde zones of op globaal niveau. Waarschijnlijk is dit te wijten aan de minder gunstige klimatologische omstandigheden in Noord-Europa, die een trage boomgroei en dus een relatief lage C-input als gevolg hebben.

Paul et al. (2002) vonden voor hun globale gegevens, in tegenstelling tot de casus in Noord-Europa van Bárcena et al., wel een significante invloed van klimaat op de verandering van SOC na bebossing, althans tot een diepte van 30 cm. Het SOC-niveau steeg beduidend in tropische en subtropische regio's na bebossing, en in mindere mate in continentale, vochtige gebieden.

Post en Kwon (2000) bestudeerden de SOC-verandering na aanplanting van houtige vegetatie op gewezen akkerland. Ze zagen een stijging van SOC-accumulatie van de gematigde tot de subtropische regionen. Op globale schaal stijgt de hoeveelheid koolstof, bevat in het afbrekend organisch materiaal op de bosbodem, van de tropen naar de boreale wouden (Schlesinger, 1977; O'Connell and Sankaran, 1997). In de tropen treedt namelijk een erg snelle decompositie op door de hogere temperaturen en intensere regenval, dewelke de grote bladval door de snelle biomassaproductie in evenwicht houdt. Hieruit volgt dat het mogelijks beter is om koolstof op een duurzame manier op te slaan door bebossing in koudere klimaatzones.

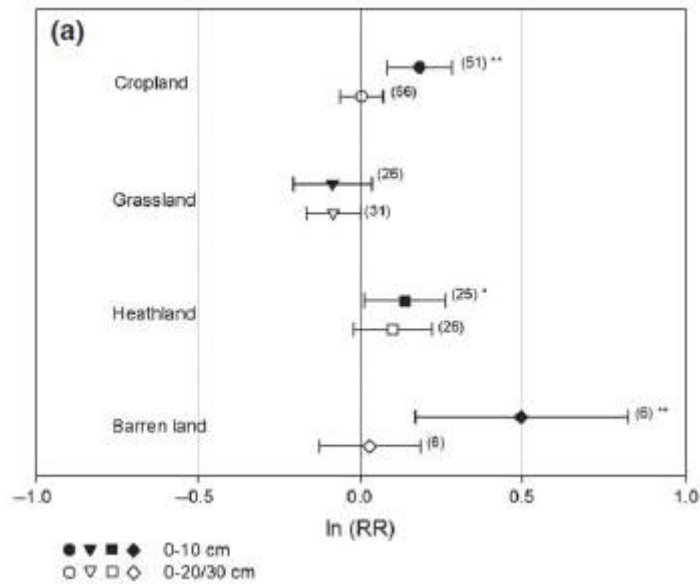
Algemeen kan gesteld worden dat klimaat een aanzienlijke invloed heeft op de SOC-verandering na bebossing, vnl. door de invloed op de microbiële activiteit en andere decompositiewegen. Maar het klimaat heeft ook een belangrijk effect op de aangroei van bovengrondse biomassa (zie 2.2.2 Groeiplaats), waarvan het effect op het globale C-gehalte tegengesteld is. Zo is in de tropen de koolstofinput groot omwille van de hoge productiviteit, maar de koolstofoutput door de snelle decompositie is dit ook. In de gematigde streken wordt de kleinere koolstofinput door de lagere productiviteit dan weer op dezelfde manier gecompenseerd door een tragere decompositie van het organisch materiaal.

2.3.2.2 Voormalig landgebruik

Het voormalig landgebruik voor de bebossing is met voorsprong de belangrijkste parameter voor de SOC-dynamiek na bebossing. Het voormalig landgebruik bepaalt namelijk in welke mate de bodem koolstofverzadigd was voor de bebossingsfase. Met koolstofverzadiging wordt de mate aangeduid waarin de bodem zijn maximaal mogelijke hoeveelheid koolstof bevat. Een landbouwperceel, dat geploegd wordt en waarop intensief gewassen worden gekweekt en afgevoerd, zal maar een fractie van zijn maximaal haalbare koolstofhoeveelheid bevatten. Een grasland dat permanent begroeid is en niet vaak wordt geoogst (dus weinig export van biomassa), zal daarentegen veel meer SOC bevatten. Grasland heeft daarenboven naast de bovengrondse koolstofinput ook een aanzienlijke ondergrondse koolstofinput, namelijk de vele fijne graswortels, die welke een rijke microbiële bodemflora in stand houden (Don et al., 2011; Li et al., 2012). Tevens wordt verondersteld dat microbiële afbraakproducten van biomassa met een hoge turnoversnelheid, zoals fijne wortels, makkelijk organo-mineraalcomplexen en aldus stabiele bodemorganische stof vormen. (Rasse et al., 2005; Cotrufo et al., 2013)

Een SOC-arme bodem zal daarom ook eerder aangerijkt worden met koolstof ten gevolge van bebossing dan bijvoorbeeld een reeds C-rijk grasland. Algemeen wordt aangenomen dat akkerland en andere SOC-arme bodems, zoals heide, een netto SOC-winst op termijn ondergaan na bebossing. Grasland en andere meer SOC-rijke systemen zullen daarentegen een SOC-verlies kennen (Nave et al., 2013; Bárcena et al., 2014). (appendix figuur 1)

Bárcena et al. maakten een uitgebreide meta-analyse met 119 gepaarde observaties van SOC-verandering in Noord-Europa (Scandinavië, Baltische Staten & Groot-Brittanië). Alle opgenomen percelen, buiten die van IJsland (32 observaties), bevinden zich in de gematigde zone, waardoor hun resultaten van grote relevantie zijn voor deze beschouwing.



Figuur 2.4: Meta-schattingen van de effectgrootte (als logaritme van de Respons Ratio), gebaseerd op het voormalig landgebruik. De getallen tussen haakjes zijn het aantal observaties. Zwarte symbolen: minerale bodemlaag van 0-10cm diepte, witte symbolen: 0-20/30cm. Foutbars: 95% betrouwbaarheid. Significantieniveaus: * = $P < 0,05$, ** = $P < 0,01$. (Bárcena et al., 2014)

De onderzoekers vonden een toename in SOC na bebossing op voormalig akkerland, heidegebied en op onvruchtbare gronden (met dorre vegetatie, zgn. *barren land*). (zie figuur 2.4) Deze toename was waarneembaar in zowel de bodemlaag van 0-10 cm als die van 0-20/30 cm diepte, maar een significante invloed werd enkel gevonden in de bovenste laag. Waarschijnlijk is een groter tijdsvenster nodig om eveneens significante resultaten waar te nemen tot op een diepte van 20/30 cm. De bovenste laag van de minerale bodem komt namelijk sneller in contact met de bovengrondse koolstofinputs (blader- & takval...). Na verloop van tijd kan koolstof wel degelijk in diepere lagen geraken, onder andere door transport door bodemfauna, uitloging van opgeloste organische C vanuit de strooisellaag of het afsterven van plantenwortels.

Voor bebossing op grasland werd een kleine, bijna significante daling gevonden van 8% (ten opzichte van een 'identiek' perceel dat niet bebost werd) voor beide bodemdieptes, over de volledige tijdspanne van de data.

Aan de hand van een meta-regressie vonden Bárcena et al. dat de SOC-toename in beide bodemlagen significant was voor bebossing op voormalig akkerland. In de 0-10 cm bodemlaag bedroeg deze 1,1% per jaar, en 0,8% per jaar tot op een diepte van 20/30 cm. Een globale meta-analyse, uitgevoerd door Shi et al. in 2013, bekwam een zeer gelijkaardige SOC-respons na bebossing als deze bekomen in het onderzoek in Noord-Europa. Nog andere meta-analyses met data van over de hele wereld berekenden een SOC-toename sinds de bebossing op akkerland van 26% (Laganière et al., 2010) en 18% (Guo & Gifford, 2002), wat zeer gelijkaardig is aan de bekomen 20% in de 0-10 cm bodemlaag in Noord-Europa. Het feit dat de globale en regionale resultaten vrij sterk overkomen, ondanks de grote topografische en klimatologische verschillen, suggereert dat het voormalige landgebruik dé dominerende stuurvariabele is in de verandering van SOC-voorraad na bebossing.

Bij het in rekening brengen van de strooisellaag/O-horizont steeg de SOC-toename van 0,8% per jaar voor bebossing op akkerland, in de laag van 0 tot 20/30 cm, tot 1,3% per jaar (eveneens significant). Ook zien we de SOC-toename in heide en onvruchtbare grond, maar deze bleef echter niet significant. Voor grasland werd het kleine SOC-verlies gecompenseerd door de koolstofvoorraad in de O-horizont in acht te nemen.

Uit de resultaten van het onderzoek, uitgevoerd door Bárcena et al., kan gesteld worden dat in Noord-Europa C-verarmde bodems, zoals heide, akkerland en braakland, netto koolstof kunnen opslaan ongeveer dertig jaar na het bebossingsproces. Koolstofrijke gronden, zoals grasland, daarentegen zullen geen SOC-aanrijking binnen de dertig jaar ondergaan. Het SOC-niveau zal stagneren of soms zelfs licht dalen, althans in Noord-Europa. De grootste SOC-sequestratie vond plaats bij de bebossing van voormalig akkerland met naaldbomen (cfr. boomsoortkeuze), zeker als de O-horizont in rekening wordt gebracht.

Zinn et al. (2002) vonden voor de casus in de tropische Cerrado-regio dat bebossing op voormalige natuurlijke Cerrado-vegetatie (houtige savanne) resulteerde in een SOC-daling (0-60 cm) van -9% t.o.v. een controleplot voor een 20-jarige *Pinus*-aanplanting, en -17% voor *Eucalyptus* (7 jaar na aanplanting) op een zandige Entisol. Ook in de 0-5 cm laag werd een significante afname van SOC-gehalte gevonden voor alle bemonsterde percelen. Ook hier vind dus initieel een daling plaats, maar bij gebrek aan data van oudere plantages kan op basis van deze studie geen besluit worden getrokken naar het koolstofsequestratiepotentieel van deze bodems. Wel wordt algemeen verwacht dat bosaanplantingen met snelgroeïende bomen in de Cerrado de mogelijkheid hebben om het SOC-gehalte van de oorspronkelijke vegetatie te behouden.

2.3.2.3 Bodemtextuur

Bodemtextuur is bepalend voor het verloop van bodemorganische stof (SOM = Soil Organic Matter) na bebossing, aangezien vooral de kleifractie (korrelgrootte kleiner dan 2 μm) de capaciteit heeft om complexen te vormen met de verschillende humuszuren. Door de aanwezigheid van talrijke functionele groepen in deze complexe moleculen is adsorptie en stabilisatie aan het oppervlak van de kleimineralen mogelijk. Hierdoor wordt de koolstof beschermd tegen microbiële afbraak/oxidatie.

Een gunstige bodemtextuur heeft daarnaast ook een invloed op de biomassa-productie (zie deel Levende Biomassa) en zo ook op de C-input en het SOC-gehalte.

In de tropen, net zoals in gematigde streken, hebben zandige bodems over het algemeen een lagere koolstofinhoud dan kleiige bodems (Spangenberg et al., 1996). Zinn et al. (2002) concludeerden dat in de tropische Cerrado-regio kleibodems effectief weinig SOC-veranderingen ondergingen na bebossing door de sterke complexvorming. Dit komt doordat SOC-kleibindingen van groter belang zijn in tropische omstandigheden, waar een fysieke bescherming van SOC tegen decompositie cruciaal is (Amelung et al., 1997).

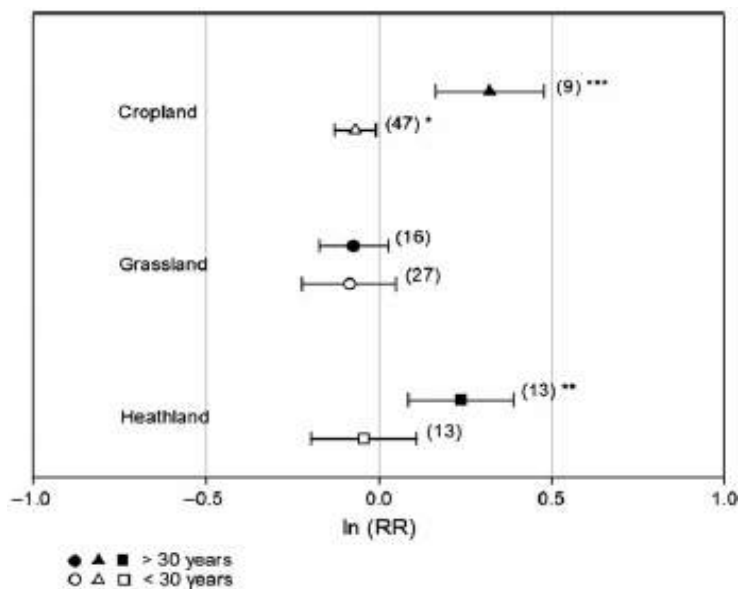
2.3.3 Bosleeftijd (tijd sinds aanplanting)

Tijd is een zeer belangrijk aspect in de verandering van SOC in een biosysteem. Zo hebben bomen in de beginfase slechts een kleine invloed op de bodem, omwille van hun geringe biomassa en de verstoorde bodem. Het voormalig landgebruik uit zich veel sterker in deze fase onder de vorm van microbiële activiteit, fysische bodemeigenschappen, nutriëntenbeschikbaarheid, etc. Naarmate het bos ouder wordt, stijgt de C-input vanuit de vegetatie. Deze stabiliseert 20 à 30 jaar na bebossing, ongeveer samenvallend met de sluiting van het bladerdek. (Vesterdal et al., 2007)

In de oppervlakkige minerale bodemlagen (<10 of 30 cm) rapporteerde Paul et al. (2002) dat het koolstofgehalte over het algemeen afnam in de eerste vijf jaar na bebossing. Nadien herstelt het SOC-niveau zich echter, en na ongeveer dertig jaar (wat ook de drempelwaarde in dit onderzoek is) was deze quasi gelijk aan of een beetje hoger dan initieel aanwezig in de bewerkte bodem. Dit is nogmaals een bevestiging van de algemene trend, namelijk dat het SOC-niveau initieel daalt na bebossing, waarna een graduele stijging volgt. In het geval van bebossing op voormalig akkerland duurt de initiële daling 3 tot

35 jaar vanaf het moment van bebossing (Aweto, 1981; Zak et al., 1990; Richter et al., 1999) en is te verklaren door het feit dat de C-decompositie van het achterblijvend organisch materiaal sneller verloopt dan de koolstofinput door strooiselproductie. Deze versnelde afbraak van labiele bodemkoolstof komt onder andere tot stand door bodembewerking voorgaande aan de bosaanplanting (ploegen etc.) en verandering van milieufactoren. De bodem wordt bijvoorbeeld de eerste jaren na bebossing door minder vegetatie dan voorheen bedekt, waardoor diens temperatuur zal stijgen, met een verhoogde microbiële activiteit als gevolg, althans in de bovenste bodemlaag (Zinn et al., 2002).

Zoals eerder aangehaald, wordt in deze bespreking enkel gekeken naar de koolstofsequestratie in de eerste dertig jaar na aanplanting. Deze *threshold* wordt onder andere ook door Bárcena et al. ingesteld en is ook voor ons doel een goede keuze. De data van Bárcena et al. (2014) bevestigt de kwaliteit van deze drempelwaarde, met een tegengestelde richting van SOC-verandering voor en na als bewijs (zie figuur 2.3). Daarnaast is koolstofdynamiek in deze beginperiode nog niet goed begrepen en verder onderzoek kan aldus zeer waardevolle resultaten opleveren. Tevens is het voor de hedendaagse maatschappij erg urgent om zo snel als mogelijk de verhoogde CO₂-concentratie in de atmosfeer te stagneren of terug te dringen. Hoewel het geweten is dat op langere termijn een bos meer zou kunnen vastleggen, is dit voor het menselijke ritme een te grote tijdsspanne om snel verandering te brengen.



Figuur 2.3: Meta-schatting van de effectgrootte (log Respons Ratio), gebaseerd op het voormalig landgebruik (akkerland, grasland en heide) tot een diepte van 0-20/30 cm. De open symbolen: bossen < 30 jaar, ingekleurde symbolen: > 30 jaar na bebossing. Nummer tussen haakjes: aantal observaties. Foutbars: 95% betrouwbaarheid. Significatieniveaus: * = $P < 0,05$, ** = $P < 0,01$, *** = $P < 0,001$ (Bárcena et al., 2014)

Een treffend voorbeeld van de sterke variabiliteit in SOC-veranderingen in de eerste decennia na bebossing werd gevonden in de meta-analyse van Bárcena et al. (2014), uitgevoerd over meer dan honderd proefvlakken in Noord-Europa. De onderzoekers kwamen tot de conclusie dat proefvlakken, die minder dan dertig jaar geleden bebost waren, een SOC-daling kenden, hoewel enkel significant voor voormalig akkerland. Na dertig jaar daarentegen werd een significant positieve SOC-verandering waargenomen op voormalig akkerland (38%) en heide. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de beschikbare data voor deze laatste situatie zeer schaars zijn ($k = 9$), aangezien het onderzoek naar veranderingen in SOC-voorraad nog maar vrij recent op gang is gekomen, onder andere omwille van de complexiteit ervan. Opvallend is dat, zelfs na dertig jaar, de SOC-voorraad in bebost grasland nog niet beduidend veranderd is.

Ook Paul et al. (2002) concluderen in hun globale meta-analyse dat de SOC-voorraad zeer sterk fluctueert in de eerste jaren volgend op bebossing. In de eerste vijf jaar na bebossing wordt een daling waargenomen, waarna de snelheid van SOC-afname vervolgens daalt en op een bosleeftijd van ongeveer dertig jaar de bodem opnieuw aangerijkt wordt tot het SOC-niveau van akkerland, of soms zelfs hoger in diepere lagen. (zie tabel 2.4)

Tabel 2.4: De SOC-dynamiek in de eerste decennia na bebossing, gebaseerd op een wereldwijde dataset van bebost akkerland. De gekozen *threshold* van 30 jaar bebossing wordt hier duidelijk: jonge bossen (linkse kolom) kennen een SOC-daling, bossen ouder dan 31 jaar een stagnatie of zelfs een stijging in dieptes groter dan 30 cm. (Paul et al., 2002)

Bodemdiepte (cm)	SOC-gehalte, < 5 jaar na bebossing (g C m ⁻² jaar ⁻¹)	SOC-gehalte, > 31 jaar na bebossing (g C m ⁻² jaar ⁻¹)
< 10	- 60,1	- 0,5
> 30	- 17,8	+ 32,2

Na verloop van tijd, gaande van 30 tot 60 jaar (Paul et al. 2002), wordt een nieuw evenwicht ingesteld tussen koolstofinput -en afbraak.

In het algemeen kan aldus gesteld worden dat het beboste perceel in een eerste fase een verlies aan SOC ondervindt, waarna het SOC-niveau geleidelijk aan begint te stijgen (Paul et al., 2002). Netto toenames in SOC-voorraden worden waargenomen in een latere fase (Bárcena et al., 2014). De lengte van deze fasen wordt bepaald door de verschillende stuurvariabelen.

2.4 Samenvattende tabel: relatief belang stuurvariabelen

Tabel 2.5: Het relatieve belang van elke besproken stuurvariabele op de verandering in koolstofhoeveelheid in de levende biomassa en de bodem na bebossing. +++ = zeer belangrijke stuurvariabele, ++ = belangrijke stuurvariabele, + = matig belangrijke stuurvariabele, 0 = stuurvariabele van weinig invloed.

Variabele	Invloed op koolstofhoeveelheid	
	Levende biomassa	Bodem
Bosleeftijd	++	++
Klimaat	+++	++*
Bodem	+	++
Boomsoort	++	+
Voormalig landgebruik	0	+++

*Voor zowel de levende biomassakoolstofstock als voor de SOC-dynamiek na bebossing is klimaat een belangrijke stuurvariabele. Belangrijk hierbij op te merken is dat het effect van klimaat op elk van de twee stocks tegengesteld is. Zo zal een warmer en vochtiger klimaat een snellere biomassa-accumulatie tot gevolg hebben, maar ook een verhoogde decompositiesnelheid bewerkstelligen, met een negatief effect op het SOC-gehalte. Globaal gezien is klimaat dus minder bepalend omwille van de elkaar compenserende effecten op beide koolstofstocks.

3 Analyse bestaande calculators

3.3 Inleiding

Tegenwoordig zijn er veel rekenmodules op de markt die het mogelijk maken om de CO₂ uitstoot van een persoon of organisatie te compenseren door bosaanleg. Er zijn echter grote verschillen te vinden tussen deze initiatieven. Allen beloven ze de gevraagde hoeveelheid CO₂ vast te leggen door sequestratie, maar de berekeningswijzen verschillen aanzienlijk. De reeds in deel 2 besproken stuurvariabelen bepalen hoofdzakelijk de sequestratiecapaciteit. Idealiter zouden deze organisaties met al deze factoren rekening moeten houden in hun berekeningen, om een zo realistisch mogelijk beeld te verkrijgen van de effectieve hoeveelheid vastgelegde CO₂. In dit deel wordt de berekeningswijze van de bestaande initiatieven alsook de mate waarin ze wetenschappelijk onderbouwd zijn, geëvalueerd.

Gepaard gaande met CO₂-sequestratie kunnen deze bebossingsprojecten ook nog bijkomende functies hebben, denk maar aan de aanplanting van een gemengd bos om zo meer biodiversiteit te creëren in plaats van dit aan de hand van monocultuur plantages te realiseren. Ook zijn er mogelijkheden tot samenwerking met de lokale bevolking, om zo de lokale economie te versterken. Naast de berekeningen werd dan ook geëvalueerd of de initiatieven rekening houden met en inspelen op de ecologische en sociaaleconomische aspecten.

Uiteindelijk is het belangrijk dat het initiatief in interactie treedt met de gebruiker. Laatste is uiteindelijk de koper van de aangeboden dienst. Sommige initiatieven mikken vooral op grote organisaties, terwijl anderen eerder particulieren in het vizier nemen. Als laatste wordt dan ook de communicatie van de calculators naar de gebruiker geëvalueerd, en de mate van transparantie.

3.4 Zoekstrategie

Om het zoekproces van een potentiële gebruiker te simuleren werd op 9 februari 2015 aan de hand van de zoekmachine 'Google' op het internet gezocht met verschillende zoektermen ('CO₂ compensatie bosaanleg', 'CO₂ compensation afforestation', ...). Er werd zowel in het Nederlands als in het Engels gezocht. Voor elke zoekterm werden de eerste 20 aangeboden links onderzocht.

Uit de aangeboden zoekresultaten werden enkel de initiatieven weerhouden die CO₂-compensatie door middel van bosaanleg als hoofdactiviteit hebben. Veel organisaties trachten CO₂-compensatie te verwezenlijken door andere projecten: investeringen in alternatieve energie, isolatie van gebouwen, Deze initiatieven vallen buiten het bestek van dit onderzoek en werden dan ook niet verder onderzocht. Sommige natuurbeheerprojecten zien in de verkoop van CO₂-sequestratie een extra manier om aan fondsenwerving te doen. In ruil voor een donatie beloven ze je dat de gevraagde CO₂ zal gecompenseerd worden. Aangezien de compensatie niet hun hoofdactiviteit is, maar eerder een slinkse marketingstrategie, werden ze niet opgenomen in dit onderzoek. Dit omdat hun compensatieactiviteiten eerder een marketingtruc is dan hun hoofdactiviteit.

Natuurlijk moet men hier in acht nemen dat enkel de makkelijkst vindbare initiatieven besproken werden. Er bestaan hoogst waarschijnlijk meer initiatieven dan deze die opgenomen zijn in deze studie.

3.5 Vergelijkend overzicht

Om het overzicht te bewaren werd een vergelijkend overzicht opgesteld (zie tabel 3.1). De calculators werden vergeleken op vlak van hun berekeningen, op sociaaleconomisch vlak, op ecologisch vlak en op vlak van de houding naar de gebruiker. Voor de berekeningen werd er gekeken of de calculator vermeldt rekening te houden met de verschillende stuurvariabelen, geïdentificeerd in de wetenschappelijke literatuur. Hier wordt met 'ja' of 'nee' geantwoord. Andere parameters kunnen wel een specifiek antwoord hebben. Met '-' wordt bedoeld dat het niet gegeven is op de site of via extra rondvraag. Mogelijks zijn deze items niet aanwezig in de organisatie. In de appendix (appendix 8.4) is een uitgebreide verklaring van de gebruikte parameters opgenomen.

Tabel 3.1: De verschillende calculators worden onderling vergeleken op basis van verscheidene parameters. “Ja”: wordt rekening mee gehouden., “Nee”: wordt niet vermeld, “nvt”: niet van toepassing en ‘-’ niet gegeven. Voor de parameters uit de literatuurstudie wordt tussen haakjes tevens het relatief belang weergegeven voor resp. biomassa en bodem.

	<i>Forest Carbon Group</i>	<i>Prima Klima</i>
Algemeen		
<i>Naam</i>	Forest carbon group	Prima Klima Weltweit
<i>Hoofdzetel</i>	Duitsland	Duitsland
<i>Projecten</i>	Wereldwijd	Wereldwijd
<i>Bedrijfsvorm</i>	Bedrijf	Stichting
<i>Startjaar</i>	2012	1991
Berekeningen		
<i>Bosleeftijd</i> (++) / (++)	Ja	Ja
<i>Klimaat</i> (+++) / (+)	Ja	Ja
<i>Bodem</i> (+) / (++)	Nee	Nee
<i>Boomsoort</i> (++) / (+)	Ja	Ja
<i>Voormalig landgebruik</i> (0) / (+++)	Ja	Nee
<i>Buffer</i>	Ja	Ja
<i>Ton CO₂ per ha per jaar</i>	5.13 - 13.94	7.0 - 10.0
<i>Wetenschappelijke bronnen</i>	‘Good Practice Guidance For Land Use, Land-Use Change and Forestry’ (IPCC, 2003)	Thuille et al. 2005, Zomer et al. 2008, Paul et al. 2009
<i>Certificaat</i>	VCS, Gold Standard	SGS, VCS, Plan Vivo
Sociaaleconomisch		
<i>Lokale economie</i>	Ja	Ja
<i>Samenwerking lokale bevolking</i>	Ja	Ja
<i>Beheersvorm</i>	In samenwerking	Beide
Ecologie		
<i>Autochtoon materiaal</i>	Ja	Ja
<i>Mengcultuur of monocultuur</i>	Mengcultuur	Mengcultuur
<i>Biodiversiteit</i>	Ja	Ja
<i>Labels</i>	CCBA, REDD+	-
Gebruiker		
<i>Doelgroep</i>	Bedrijf	Beide
<i>Transparantie organisatie</i>	Goed	Goed
<i>Gebruiksgemak voor gebruiker</i>	Matig	Goed
<i>Projecten te bezichtigen</i>	Ja	Ja
<i>Externe audit of label</i>	-	Audit
<i>Prijs per ton CO₂</i>	16 euro	12 euro

	<i>Trees For All</i>	<i>Future Forest</i>
Algemeen		
<i>Naam</i>	Trees For All	Future Forest
<i>Hoofdzetel</i>	Nederland	Verenigd koninkrijk
<i>Projecten</i>	Nederland, Filippijnen, Bolivia	Verenigd koninkrijk
<i>Bedrijfsvorm</i>	Stichting	Bedrijf
<i>Startjaar</i>	1999	2011
Berekeningen		
<i>Bosleeftijd (++ / ++)</i>	Ja	Ja
<i>Klimaat (+++ / +)</i>	Ja	Ja
<i>Bodem (+ / ++)</i>	Nee	Nee
<i>Boomsoort (++ / +)</i>	Nee	Ja
<i>Voormalig landgebruik (0 / +++)</i>	Nee	Nee
<i>Buffer</i>	Ja	Nee
<i>Ton CO₂ per ha per jaar</i>	6.0-15.0	-
<i>Wetenschappelijke bronnen</i>	IPCC / UNFCCC	-
<i>Certificaat</i>	VCS, Gold Standard	-
Sociaaleconomisch		
<i>Lokale economie</i>	Ja	Nee
<i>Samenwerking lokale bevolking</i>	Ja	Nee
<i>Beheersvorm</i>	In samenwerking	In eigen beheer
Ecologie		
<i>Autochtoon materiaal</i>	Ja	Ja
<i>Mengcultuur of monocultuur</i>	Mengcultuur	Mengcultuur
<i>Biodiversiteit</i>	Ja	Ja
<i>Labels</i>	FSC	-
Gebruiker		
<i>Doelgroep</i>	Beide	Particulier
<i>Transparantie organisatie</i>	Goed	Slecht
<i>Gebruiksgemak voor gebruiker</i>	Goed	Slecht
<i>Projecten te bezichtigingen</i>	Ja	Ja
<i>Externe audit of label</i>	CBF, audit	-
<i>Prijs per ton CO₂</i>	9.75 euro	-

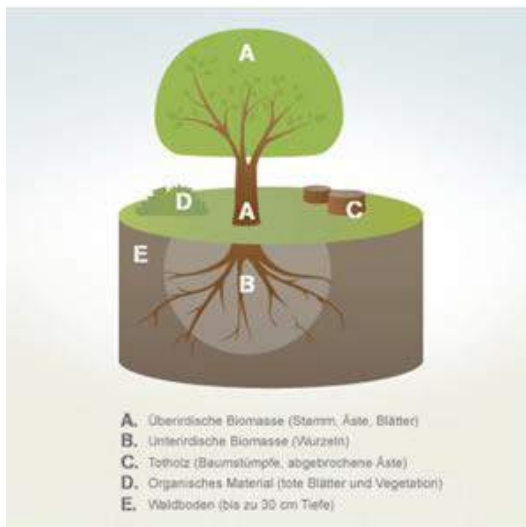
	<i>CO-Tree</i>	<i>Greenhous gas equivalences calculator</i>
Algemeen		
<i>Naam</i>	CO-Tree	Greenhous gas equivalences calculator
<i>Hoofdzetel</i>	Nederland	United States
<i>Projecten</i>	nvt	United States
<i>Bedrijfsvorm</i>	Bedrijf	Overheid
<i>Startjaar</i>	In ontwikkeling	2012
Berekeningen		
<i>Bosleeftijd (++) / (++)</i>	nvt	Ja
<i>Klimaat (++++) / (+)</i>	nvt	Ja
<i>Bodem (+) / (++)</i>	nvt	Nee
<i>Boomsoort (++) / (+)</i>	nvt	Ja
<i>Voormalig landgebruik (0) / (++)</i>	nvt	Ja
<i>Buffer</i>	nvt	Nee
<i>Ton CO₂ per ha per jaar</i>	nvt	3.01
<i>Wetenschappelijke bronnen</i>	nvt	Forest Inventory and Analysis(FIA); Smith, J., Heath, L., & Nichols, M. (2010)
<i>Certificaat</i>	nvt	-
Sociaaleconomisch		
<i>Lokale economie</i>	nvt	nvt
<i>Samenwerking lokale bevolking</i>	nvt	nvt
<i>Beheersvorm</i>	nvt	nvt
Ecologie		
<i>Autochtoon materiaal</i>	nvt	nvt
<i>Mengcultuur of monocultuur</i>	nvt	nvt
<i>Biodiversiteit</i>	nvt	nvt
<i>Labels</i>	nvt	nvt
Gebruiker		
<i>Doelgroep</i>	Particulier	Particulier
<i>Transparantie organisatie</i>	Goed	nvt
<i>Gebruiksgemak voor gebruiker</i>	nvt	Goed
<i>Projecten te bezichtigen</i>	nvt	nvt
<i>Externe audit of label</i>	-	nvt
<i>Prijs per ton CO₂</i>	nvt	nvt

3.6 Bespreking individuele calculators

3.6.2 Forest Carbon Group

<http://www.forestcarbongroup.com/>

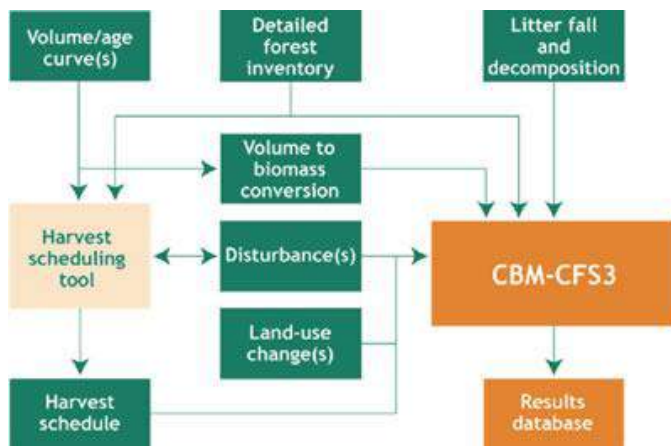
Forest Carbon Group is een Duits bedrijf dat wereldwijd herbebossingsprojecten heeft. Er lopen projecten in Noord- en Zuid-Amerika, Afrika en Australië. Zoals de meeste organisaties, kunnen bedrijven ook hier hun CO₂-uitstoot berekenen. Na betaling worden bossen aangelegd die deze uitstoot weer compenseren. Naast compensatie wordt er ook getracht om bepaalde soorten en habitats te beschermen. Dit alles in combinatie met een economische vooruitgang en betere levensomstandigheden voor de lokale bevolking.



Figuur 3.1 Voorstelling van de koolstof-pools gebruikt in het CBM-CFS3 model. A = Kroon+stam (bovengrondse biomassa), B = Wortels (ondergrondse biomassa), C = Dood hout, D = Afvalmateriaal zoals takken en bladeren, E = Bodemorganische stof (BOS)

Forest Carbon Group heeft een beter uitgewerkte berekeningsmethode dan de meeste beschikbare calculators. Waar andere calculators vaak één soort bos op één bepaalde groeiplaats planten en hiervoor een vaste waarde voor de CO₂-captatie hanteren, gaat Forest Carbon Groep dieper in op de verschillende aspecten. Zo worden eerst de verschillende soorten gedetermineerd, en aan de hand van een groeimodel en het aanwezige klimaat, de groei voor de komende periode bepaald. Dit gebeurt aan de hand van een model (*Tree and Stand Simulator*) TASS. Vervolgens wordt met het CBM-CFS3-model het gehalte koolstof berekend per hectare. Dit gebeurt door de resultaten van TASS en de initiële condities, zoals bodemorganisch stof (BOS) en voormalig landgebruik, in het model in te geven.

Het CBM-CFS3 model is een model dat alle *sinks* van koolstof (zie figuur 3.1), die in het Kyoto protocol zijn opgenomen, meerekent. Dit betekent: bovengrondse en ondergrondse biomassa, BOS, dood hout, en strooisel. Het model berekent het gehalte koolstof voor zowel het herbebossingsproject, als voor de situatie waar niet bebost wordt. Aan de hand van het verschil kan men de hoeveelheid koolstof berekenen die wordt vastgelegd door herbebossing. Met behulp van de conversiefactor 44/12 wordt de hoeveelheid gecapteerde CO₂ berekend, uitgaande van de hoeveelheid koolstof dat het model berekende. Deze conversiefactor wordt bekomen door de molaire massa van CO₂ (=12+2x16 g/mol) te delen door deze van elementaire C (=12g/mol). Om uiteindelijk de hoeveelheid gecapteerd CO₂ per boom te berekenen wordt deze hoeveelheid gedeeld door de densiteit waarmee is aangeplant. Op deze manier wordt toch een waarde per boom verkregen, zonder daarbij de dynamiek die plaatsvindt in het gehele ecosysteem te verwaarlozen. Het model is gratis downloadbaar, maar vergt een goede kennis om er mee aan de slag te gaan.



Figuur 3.2 Schematisch weergave van het gebruik van het CDM-CFS3 model.

Er wordt gegarandeerd dat de bomen minstens 50 jaar groeien en effectief koolstof vastleggen. Onafhankelijke instanties controleren en analyseren de projecten; zo worden er inschattingen gemaakt van de risico's op ziektes, illegale kap, brand en dergelijke. Forest Carbon Group sluit ook langetermijncontracten af met lokale overheden en hun business partners zodat er gegarandeerd kan worden dat de bossen voor een welbepaalde termijn blijven bestaan en CO₂ capteren. Ondanks deze voorzorgsmaatregelen is het niet mogelijk om bepaalde incidenten te voorkomen en bijgevolg worden er bij bebossingsprojecten meer bomen geplant dan nodig. Dit werkt dan als een soort buffer zodat de klant zeker kan zijn dat zijn emissies gecompenseerd worden. Een precieze kwantificatie hiervan is niet bekend.

De berekeningsmethodes zijn ontwikkeld door Ecosystem Restoration Associates (ERA) op basis van IPCC report 'Good Practice Guidance For Land Use, Land-Use Change and Forestry' (2003). De projecten van Forest Carbon Group zijn gecertificeerd en ge-audit door Verified Carbon Standard (VCS) (appendix 8.5.1.1), Climate, Community and Biodiversity Alliance Standard (CCBA) (appendix 8.5.1.2).

Er wordt getracht om de economische situatie van de lokale bevolking te verbeteren, zodat de vicieuze cirkel van bosdegradatie doorbroken kan worden. Dit gebeurt door tewerkstelling van de lokale bevolking in de bossen te realiseren of door het bos samen met lokale instanties of bevolking te beheren en/of te exploiteren. Ook is Forest Carbon Group lid van UN Global Compact. Dit is een verbintenis die bedrijven kunnen aangaan en omvat tien regels, met betrekking tot mensenrechten en anticorruptie.

Forest Carbon Group probeert naast koolstofsequestratie ook aan bosbescherming, herbebossing, agroforestry en duurzaam bosbeheer te doen. Op deze manier kan het bos voor meerdere doeleinden dienen, zoals bodembescherming, regulering van watercycli, vergroten van voedselzekerheid en biodiversiteit. Hierbij wordt rekening gehouden met de vijf principes van REDD+. (appendix 8.5.2.3)

3.6.3 Prima Klima Weltweit

<http://www.prima-klima-weltweit.de/>

Prima Klima is een Duitse vzw die sinds 1991 actief is. Op hun website vermelden ze trots dat ze al meer dan 13 miljoen bomen hebben aangeplant, en claimen meer dan een half miljoen ton CO₂ vastgelegd te hebben. De organisatie is zeer sterk gefocust op hun thuisland, waar tientallen kleine en grootschalige projecten worden uitgevoerd. Daarnaast lopen er ook projecten in Maleisië, Nederland, Zuid-Afrika, Nicaragua en Argentinië. Deze projecten worden vaak in samenwerking met lokale organisaties uitgevoerd, die vaak meer inzicht en ervaring hebben met de lokale situatie. Daarnaast is er ook subsidiëring van de Duitse overheid voor de Duitse projecten.

Voor de berekening van CO₂ hanteert Prima Klima een vast richtgetal per project. Voor de Duitse projecten is dat bijvoorbeeld 10 ton CO₂/ha/jaar. De gegarandeerde hoeveelheid CO₂ wordt in de eerste 10 jaar gesequestreerd, waarna het bos in de volgende jaren nog extra CO₂ vastlegt. Aangezien de meeste projecten over een periode van 40 à 50 jaar lopen wordt tot 5 keer de gegarandeerde hoeveelheid vastgelegd. Wat er na afloop gebeurt met deze bossen is echter niet duidelijk. In het geval van herbebossing trekt men de berekende hoeveelheid CO₂ af die het gebied zou vastleggen zonder het project. Daarnaast kiest Prima Klima ervoor om, afhankelijk van het risico van een bepaald project, een buffer aan te planten.

Prima Klima beroept zich op verschillende studies (Thuille et al. 2005, Zomer et al. 2008, Paul et al. 2009) om hun geclaimde waarden te onderbouwen. Deze artikels zijn degelijke casestudies, maar waarvan de uitkomsten echter niet als universeel mogen worden beschouwd. De waarden zijn enkel toepasbaar binnen een kleine groep van vergelijkbare projecten, en kunnen niet geëxtrapoleerd worden naar andere bostypes. Prima Klima liet per mail weten dat ze de koolstofsequestratie per project evalueren, al lieten ze niet weten door wie en volgens welke methode dit gebeurde. Ook zijn bepaalde projecten gecertificeerd door SGS (appendix 8.5.1.3), VCS (appendix 8.5.1.1) of Plan Vivo (appendix 8.5.1.4).

Prima Klima doet grote inspanningen om samen te werken met de lokale bevolking. In Nicaragua loopt er bijvoorbeeld een project in samenwerking met lokale boeren en houthakkers. Prima Klima plant bomen aan, en keert vervolgens in de eerste jaren premies uit om de groeiende bomen te onderhouden. Wanneer het bos op leeftijd is worden de premies vervangen door een inkomen uit fruitproductie of duurzame houtkap. Hierdoor tracht men, naast het vastleggen van CO₂, ook armoede te bestrijden. Als zijproject deelt men ook efficiënte houtkachels uit, die de huidige open vuren vervangen. Hierdoor wordt de druk op de reeds aanwezige bossen verlicht.

Ook op ecologisch vlak scoort Prima Klima goede punten. Men kiest ervoor om gemengde bossen met inheemse soorten aan te planten waardoor, een divers ecosysteem ontstaat. Daarnaast besteedt men extra aandacht aan het herstel van de oorspronkelijke vegetatie. In Zuid-Afrika loopt bijvoorbeeld een project om de oorspronkelijke aanplanting te herstellen. Deze is er namelijk verdwenen door overbegrazing met geiten. Dit wil men ongedaan maken door het aanplanten van de 'elephant plant' (*Portulacaria afra*). Deze pionierssoort creëert een microklimaat, waardoor de oorspronkelijke begroeiing weer kansen krijgt. Hoewel de vastgelegde hoeveelheid CO₂ per hectare veel lager ligt (8 ton/ha over 50 jaar), lijkt dit Zuid-Afrikaans project zeer zinvol. Ook in Argentinië loopt een project waarbij men gebruik maakt van pionierssoorten (*Pinus ponderosa*). Op sterk gedegradeerde sites plant men deze bomen aan om de bodemkwaliteit te verbeteren. Na verloop van tijd rooit men deze bomen, en plant men een tweedegeneratie bos met inheemse loofbomen (o.a. *Nothofagus*). Merk op dat dit een uitheemse soort is in Argentinië.

Hoewel de website een beetje oubollig oogt, is deze eenvoudig in gebruik. De website vermeldt duidelijk wat met het gedoneerde geld gebeurt, en geeft ook een mooi overzicht van alle projecten. Bij grote donaties kan men kiezen naar welk project het geld gaat. Een externe audit controleert hun werking elk jaar, en garandeert dat niet meer dan 10% van de donaties naar de werking van Prima Klima zelf gaat.

Soms wordt er ook gebruik gemaakt van de aankoop van CO₂-certificaten van andere projecten (o.a. in Nederland en Maleisië). Het gaat hier dus over de aankoop van CO₂ die reeds is vastgelegd. Dit lijkt ons niet helemaal correct. Prima Klima belooft de gebruiker namelijk in de toekomst een gegeven hoeveelheid CO₂ vast te leggen, en realiseert dit aan de hand van de aankoop van CO₂-certificaten.

3.6.4 Trees For All

<http://www.treesforall.info/>

Trees For All is een van oorsprong Nederlandse vzw die geld inzamelt voor projecten, (deels) in eigen beheer, onder andere in de Filipijnen, Mali, Bolivia en Maleisië. Hiervoor werken ze samen met tal van organisaties en bedrijven, zoals: Face the Future, Zienergie, Stichting Stimular, HIER klimaatneutraal, ANBI, MVO Nederland en Klimaatplein.com.

Trees For All hanteert voor hun project in de Filipijnen de vuistregel dat een boom in de tropen gemiddeld 1 ton CO₂ capteert per jaar. Men vermeldt echter niet of men bij de berekening rekening houdt met belangrijke stuurvariabelen zoals boomsoort, bodemtype, voormalig landgebruik en of dit cijfer ook de ondergrondse biomassa in beschouwing neemt. Aangezien ze een vaste waarde per boom gebruiken, wordt er verondersteld dat ze de complete boom in rekening brengen, dus met wortels. Dit is echter nergens expliciet vermeld. Eigenaardig genoeg wordt volgens de calculator om 1 ton CO₂ te compenseren het volgende berekend: 1 boom die voor 88.5 jaar lang groeit. Voor de projecten in Bolivia en Maleisië worden de berekeningen niet door Trees for All uitgevoerd. Hier wordt voor de berekeningen gewerkt met de rekenmethodes van IPCC / UNFCCC. Deze laatste twee projecten dragen dan labels, zo is het project in Maleisië 'VCS' (appendix 8.5.1.1) gelabeld, terwijl dit in Bolivia 'Gold Standard' (appendix 8.5.1.2) is. De reden dat hun methodes verschillen van project tot project heeft, te maken met de wens van de klant. Particulieren willen vaak gewoon een bijdrage leveren aan het milieu zonder dat dit te gedetailleerd hoeft te zijn. Bedrijven daarentegen hebben de labels nodig om hun milieu-inspanningen te staven. Deze informatie wordt niet gegeven op de site, maar werd op onze aanvraag via mail ter beschikking gesteld.

Om te voorkomen dat de bomen na afloop van het project direct terug gekapt en verbrand worden, gebruikt men geen snelgroeiend soorten, maar soorten die trager groeien en beter hout produceren. Deze kunnen dan voor andere toepassingen gebruikt worden i.p.v. brandhout, waardoor de CO₂ langer vastligt. Er wordt ook voorzien in de aanplanting van een buffer.

Trees For All tracht een draagvlak onder de lokale bevolking te creëren door deze actief te betrekken? Zo voert deze vaak de herbebossing uit en helpt de bevolking bij het beschermen van het bos. Er wordt ook in opleiding voorzien en werk gecreëerd. Eén van hun projecten focust op het herbebossen van een bergflank, om zo de bevolking te beschermen tegen modderstromen.

Trees For All tracht een ecosysteem te creëren dat zichzelf in evenwicht houdt, dus zonder veel beheermaatregelen. In hun project in de Filipijnen plant men aan rond een vulkaan waar in het verleden veel ontbossing heeft plaatsgevonden. Dit gebied herbergt enkele soorten die enkel hier voorkomen, die Trees For All tracht te beschermen. Al hun bossen zijn bovendien FSC (appendix 8.5.2.2) gelabeld.

De website is overzichtelijk en informatief, al hebben wij onze twijfels bij de werking van de calculator. Bovendien is Trees For All CBF (appendix 8.5.3.1) gelabeld, wat wil zeggen dat ze een transparante organisatie zijn die goed met hun budget omgaan.

3.6.5 Future Forests

<http://www.futureforests.org.uk/about/>

Future Forests is een Engels bedrijf dat CO₂ emissies compenseert door bomen aan te planten in Engeland, op hun privé domein.

Voor de berekening wordt een vaste waarde gehanteerd van 1 ton CO₂ per boom, die groeit in Engeland voor 40 jaar en groter dan 18 m wordt. Deze waarde is een gemiddelde waarde voor de drie boomsoorten die ze aanplanten. Er wordt in deze bespreking van uitgegaan dat ze ook rekening houden met de ondergrondse biomassa. Future Forests plant ruwe berk (*Betula pendula*), eik (*Quercus*) en es (*Franxius excelsior*) aan, maar houdt geen rekening met het verschil in sequestratie tussen de soorten. Verder wordt niet vermeld of er rekening gehouden wordt met bodemtype, voormalig landgebruik, initiële bodemorganische stofgehaltenes, en wordt geen buffer voorzien op de beloofde koolstof die ze voor de klant zullen vastleggen.

Er worden geen bronnen opgegeven voor de gebruikte cijfers. Navraag per mail bleef onbeantwoord.

Future Forests geeft aan dat geprobeerd wordt om een levensvatbaar ecosysteem aan te planten, dat de nodige beschutting en onderdak kan bieden aan een diverse fauna en flora. Vermoedelijk bedoelen ze hiermee dat ze een evenwichtig ecosysteem creëren, dat divers is en zichzelf in stand houdt, zonder beheermaatregelen. Op deze manier wordt groen gecreëerd in Engeland. Een leuke *gimmick* voor de gebruiker: elke boom die geplant wordt, heeft een plaatje waar de eigenaar op vermeld staat. Ook kan de gebruiker zijn boom of bomen bezoeken.

Het is jammer dat de site niet up-to-date is en de calculator ook niet werkzaam is. Vermoedelijk is deze organisatie niet meer actief.

3.6.6 CO-Tree

<http://www.co-tree.com/>

CO-tree is een buitenbeentje in deze bespreking. Dit Nederlands bedrijf heeft namelijk een *app* ontwikkeld die de afstand tussen gebruiker en organisatie verkleint. Deze applicatie richt zich erop om de emissies van een particulier op elk moment te kunnen compenseren met enkele simpele handelingen. Zo wordt op de *app* de handeling ingegeven, vb. een treinrit van 30 km, waarna de uitstoot wordt omgerekend naar een bepaald bedrag dat moet worden betaald om bomen te planten die deze uitstoot compenseren. De bomen worden geplant in een eigen virtueel landschap, wat op zijn beurt gedeeld kan worden met andere gebruikers. CO-Tree brengt twee partijen bij elkaar: aan de ene kant de consument die gebruik maakt van goederen en diensten die gepaard gaan met CO₂ uitstoot, aan de andere kant de aanbieder van CO₂-compensatieprojecten. Via het mobiele platform kan CO₂-compensatie en bijbehorende financiële transactie zeer kleinschalig (vanaf €0,89 / \$0,99) plaatsvinden. Het geld dat betaald wordt gaat wel effectief naar milieudoelinden. CO-tree zal zelf geen bomen planten maar doneert geld aan organisaties die dit wel doen, zoals Trees For All. Er wordt ook gedoneerd aan andere klimaatgerelateerde organisaties die zich bijvoorbeeld bezig houden met bescherming van fauna en flora. Slechts een zeer klein deel gaat naar onderhoud van de website.

3.6.7 Greenhouse Gas Equivalencies Calculator

<http://www.epa.gov/cleanenergy/energy-resources/calculator.html>

Zoals de naam doet vermoeden, worden op deze site allerhande vergelijkingen gemaakt tussen verschillende bronnen van en handelingen op vlak van CO₂-emissies. Zo worden bijvoorbeeld het aantal km met de auto omgezet naar aantal uren dat een wasmachine draait. Dit instrument werd in onze bespreking opgenomen omdat er ook vergelijkingen worden gemaakt met hoeveel bomen gedurende tien jaar moeten groeien om de uitstoot te compenseren of hoeveel hectare bos nodig is de uitstoot bv. binnen één jaar te compenseren. Hier wordt verder gewerkt met de hoeveelheid CO₂ dat een ha bos vastlegt, waarbij de zaailingen in een stedelijke omgeving aangeplant worden. Hierdoor kunnen deze niet echt als bos beschouwd worden. De captatiecalculator is eigenlijk een deel van een grotere calculator.

Er worden hier ook geen bomen aangeplant. De site, die eigendom is van de “U.S. Environmental Protection Agency”, is louter informatief. Naast de Equivalence Calculator wordt ook nog andere informatie aangeboden, zoals informatie over isolatie, verantwoord gebruik van energie en dergelijke.

Om te berekenen hoeveel CO₂ een hectare bos vastlegt, neemt men het verschil tussen de hoeveelheid gecapteerde CO₂ in het bos en de hoeveelheid CO₂ die zou gecapteerd worden moest er niet bebost worden. Volgens de berekeningen (EPA 2012) bevat een hectare Amerikaans bos 150 ton koolstof. De koolstof verandering is 0,82 ton koolstof per ha en per jaar. Deze koolstof omvat de vijf koolstof *pools*, namelijk bovengrondse biomassa, ondergrondse biomassa, dood hout, strooisel en het gehalte aan organische koolstof. Dit is gebaseerd op de “state-level Forest Inventory and Analysis (FIA) data”. Koolstofvoorraden in de bossen en koolstofvoorraden veranderingen zijn gebaseerd op de methodologie en algoritmen beschreven door Smith et al. (2010).

3.7 Discussie

Het moge duidelijk zijn dat geen enkele calculator dezelfde is. Allen gebruiken andere berekeningsmethodes, baseren hun cijfers op andere wetenschappelijke bronnen, ... Deze zijn echter niet evenwaardig aan elkaar. Enkele bedenkingen:

Allereerst is er geen enkele calculator die een vermelding maakt van alle stuurvariabelen. Zo houdt geen enkele calculator rekening met het effect van bodemtype en is Forest Carbon Group de enige die op correcte wijze rekening houdt met voormalig landgebruik, nochtans een zeer belangrijke variabele.

De meeste calculators gebruiken geobserveerde waarden, gevonden in de literatuur, om de berekeningen op te baseren. Enkel Forest Carbon Group gebruikt een complexer model. Een degelijk en betrouwbaar model is natuurlijk te verkiezen boven een experimentele waarde, daar deze toepasbaar is op meerder locaties. Wel zal het veel werk vergen om alle variabelen te berekenen of meten, om een goede input voor het model te verkrijgen. Toch kan een geobserveerde waarde, indien gebruikt in vergelijkbare condities, een goede basis vormen voor verdere berekeningen. Men dient dan wel rekening te houden dat de bekomen calculator enkel binnen zijn toepasbaarheidsdomein gebruikt kan worden. Vele calculators lappen dit echter (deels) aan hun laars. Zo liet Prima Klima weten dat ze de compensatiecapaciteit van elk project apart onderzocht, maar gebruikt ze in de effectieve calculator een waarde van 10 ton CO₂/ha/jaar voor alle projecten.

Het is jammer dat geen enkele calculator een effectieve monitoringproef opzet, om de berekende waarden in de praktijk te verifiëren.

Naar onze mening is er een wildgroei aan verschillende CO₂-certificaten ontstaan. De onderzochte calculators gebruiken samen maar liefst 4 verschillende certificaten, wat een goede vergelijking tussen de verschillende calculators, en zelfs tussen verschillende projecten van dezelfde calculator, zeer moeilijk maakt.

Alle calculators proberen, naast CO₂-compensatie, ook een steentje bij te dragen op socio-economisch en ecologisch vlak.

Het gebruiksgemak van de calculators laat soms te wensen over. De calculator van Future Forests lijkt niet te werken. Ook de andere calculators zijn niet echt een toonbeeld van efficiënt design en intuïtiviteit, waardoor de gebruiker niet direct aangemoedigd wordt om een donatie te doen. De *app* van CO-Tree lijkt dan weer, indien het zijn beloftes waarmaakt, een goede poging om de gebruiker meer aan te spreken.

Graag merken wij nog op dat, hoewel de berekeningswijzen danig verschillen, alle calculators een sequestratiesnelheid (ton CO₂/ha/jaar) uitkomen binnen dezelfde grootteorde.

4 Eigen CO₂-compensatie calculator

In deze sectie wordt aan de hand van de bevindingen uit de literatuurstudie en de analyse van reeds bestaande calculators een eigen calculator ontwikkeld. Deze calculator is eerder simplistisch van aard; het in rekening brengen van alle stuurvariabelen zou namelijk te extensief zijn voor deze bespreking. Daarom werd geopteerd om voor de belangrijkste stuurvariabele van zowel levende biomassa (klimaat) als van de bodemkoolstofstock (voormalig landgebruik) enkele richtwaarden te tabelleren die experimenteel bepaald werden voor een bepaalde locatie (ook weergegeven in tabel 4.1 en 4.2).

Voor de richtwaarden werd gekozen voor NEP-waarden (netto ecosysteem productie). Deze waarde omvat namelijk de koolstofverandering in zowel vegetatie als bodem (zie 2.1. Koolstofsequestratie d.m.v. bosaanleg). Zo wordt een complexe samenvoeging van experimentele waardes voor zowel vegetatie als bodem – meestal bekomen op een andere locatie en met andere referenties/eenheden – vermeden.

Indien men X gram C wil vastleggen door sequestratie van CO₂ in een aangeplant bos, moet eerst berekend worden met hoeveel te sequestreren koolstof dit overeen komt:

$$MM(\text{CO}_2) = 44,01 \text{ g/mol}$$

$$MM(\text{C}) = 12,01 \text{ g/mol}$$

$$\rightarrow X \text{ g CO}_2 = 12,01/44,01 \text{ g C} = 0,2729 \text{ g C}$$

De benodigde oppervlakte (A, in m²) om de opgegeven hoeveelheid CO₂ (X, in gram) binnen de gewenste tijdsperiode (T, in jaren) vast te leggen, kan als volgt berekend worden:

$$A = \frac{X * 0,2729}{(\text{richtwaarde}) * T}$$

met de ‘richtwaarde’ de waarde uit de tabel die het meest van toepassing is voor het klimaat en voormalig landgebruik van de specifieke casus. (zie tabel 4.1 en 4.2).

Tabel 4.1: NEP van specifieke casussen voor gematigde streken met de locatie en specifieke casusinformatie erbij vermeld.

Voormalig landgebruik	NEP ($g\ C\ m^{-2}\ jaar^{-1}$)	Extra info	Bron
Akkerland	590	-Zuid-Ontario (Canada) -20j oud in 2009 - gemiddelde over 2004-2008 -droge zandige bodem -goede bodemkwaliteit - <i>Pinus strobus L.</i>	M. Peichl et al. (2014)
Grasland	280	-Zuid-Ontario (Canada) -35j oud in 2009 -gemiddelde over 2004-2008 -droge zandige bodem - <i>Pinus strobus L.</i> -Eikensavanne (licht bebost grasland)	M. Peichl et al. (2014)
	360	-Ierland -30j oud -kleibodem - <i>Picea sitchensis</i> (Bong.) Carr. -plantage, reeds 3 maal gedund	Black et al. (2009)
Heide	107,73	- Vallanes (Oost-IJsland), maritiem Toendraklimaat! -15j oud in 2006 -gemiddelde over 2004-2006 -bruine Andosol (vulkanische bodem) - <i>Larix sibirica</i> (+ kleine fractie andere coniferen) -Voormalige begraasde heide	Bjarnadottir et al. (2009)
Veen	340	-Schotland -26j oud, C-neutraal na 9j -veenbodem (OM) -coniferen, model met <i>Picea sitchensis</i> (Bong.) Carr. -drooggelegd en gedraineerd veen	Hargreaves et al. (2003)
Onvruchtbaar	178,57	-Yatir Forest (Israël), rand Negev-woestijn, semi-arië klimaat! -35j oud -aanplanting periodisch gedund -droge krijtvaaggrond op kalk(steen) - <i>Pinus halepensis</i> Mill.(+ kleine fractie andere coniferen) -Voormalig kreupelhoutland	Grünzweig et al. (2007)

Tabel 4.2: NEP van specifieke casussen voor tropische streken met de locatie en specifieke casusinformatie erbij vermeld.

Voormalig landgebruik	NEP ($g\ C\ m^{-2}\ jaar^{-1}$)	Extra info	Bron
Akkerland	442	-Sardinilla (Panama) -10j oud (recente bebossing) - Kleirijke alfisol - Voornamelijk <i>Luehea seemanii</i> en <i>Cordia alliodora</i>	Wolf et al. 2011
Grasland	233,6	- Cotriaguacu (Brazilië) - 4j oud (recente bebossing) - Kleirijke Haplustox - Voornamelijk <i>Schizolobium amazonica</i> & <i>Parkia multijuga</i>	Priante-Filho et al. 2004

Uiteraard is bovenstaande tabel eerder beperkt, gezien hij slechts enkele representatieve, specifieke casussen omvat. Daarom is het aangewezen dat onderzoekers of calculatorontwikkelaars deze tabel met richtwaarden verder aanvullen met een veel uitgebreidere set van specifieke casussen over de hele wereld, met verschillende combinaties van stuurvariabelen. Zo zal men de meest accurate schatting van het koolstofsequestratiepotentieel van het te bebossen perceel bekomen.

Ter illustratie van het gebruik van de calculator wordt nog een rekenvoorbeeld gedemonstreerd.

Stel dat een Noors bedrijf CO₂-neutraal wilt worden door het aanplanten van bomen op een niet-bosperceel. Liefst doen ze dit in de regio Scandinavië, zodat hun goede daad zichtbaar is voor het doelpubliek. Graag zouden ze dit label binnen 20 jaar vanaf aanplanting verwerven. Ze hebben de mogelijkheid om een groot graslandgebied in Denemarken te bebossen. Het is geen al te groot bedrijf, een sequestratie van 1000 ton C is voldoende om zich deze imago-opfrisser toe te eigenen.

Als men in de tabel kijkt worden er twee waarden gegeven voor de bebossing op graslanden in een gematigd klimaat: één in Zuid-Ontario op een droge, zandige bodem, de andere in Ierland op een kleibodem. Gezien de 50 ha grond in Denemarken een grofzandige bodemtextuur heeft en beiden op een gelijkaardige breedtegraad liggen (met dus gelijkaardige klimatologische omstandigheden), kan men de waarde voor Zuid-Ontario extrapoleren naar de casus van de bebossing in Denemarken. Om de richtwaarde uit de tabel te gebruiken is het uiteraard aangewezen om eveneens met *Pinus strobus* L. te bebossen, en nog beter eveneens op een eikensavanne. De hamvraag is nu: welke oppervlakte van het grasland gebied moet het Noors bedrijf bebossen om zich binnen 20 jaar CO₂-neutraal te mogen noemen? Met andere woorden: hoeveel gebied is nodig opdat de *Pinus*-aanplanting 1000 ton (= 1000 000 g) C in de 20 jaar naar bebossing kan vastleggen op voormalig grasland, op een droge zandbodem? De modelberekening gaat als volgt:

$$A = \frac{1000\ 000\ g\ C * 0,2729}{\left(280\ g\ \frac{C}{ha\ jaar}\right) * 20\ jaar} = 5600\ ha$$

Het Noors bedrijf dient dus ongeveer 5600 ha van het grasland in Denemarken op te kopen en vervolgens te bebossen met *Pinus strobus* L. om 20 jaar na aanplanting een CO₂-neutraal te worden.

5 Enkele kritische bedenkingen

Na de wetenschappelijke literatuur uitgespit te hebben en de verscheidene calculators op hun methodologische onderbouw getoetst te hebben, kan de kijk op het thema van CO₂-compensatie door middel van bosaanleg ook eens verbreed worden. Wanneer dit onderwerp immers van op een afstand met een enigszins bredere blik bekeken wordt, dienen zich enkele kritische bedenkingen aan. Zo kan men zich afvragen of de focus op het aanplanten van bomen ter compensatie van de CO₂-uitstoot niet uiteindelijk zal leiden tot een enge tunnelvisie waar mensen in terecht komen. De gecommmercialiseerde calculator vertelt mooi en netjes dat een bepaald aantal bomen planten gelijk staat aan een bepaalde hoeveelheid CO₂-uitstoot compenseren. Vormt deze gesimplificeerde benadering van het probleem en het mogelijks blindelings vertrouwen hierop dan geen gevaar dat mensen een soort schijngevoel van ‘goed handelen’ krijgen? Alsof er, zolang er maar bomen blijven aangeplant worden, er naar wellust uitgestoten mag worden. Zal iemand werkelijk al zijn schaaapjes op het droge hebben, wanneer die zijn CO₂-uitstoot – niet uitmakend hoe groot deze is – simpelweg van zich kan afbetalen? Riskeren we niet dat het mantra ‘de vervuiler betaalt’ in de praktijk neer komt op ‘de betaler vervuilt’? Bestaat bovendien het gevaar niet dat het bos op deze manier gereduceerd zal worden tot een koolstofplantage, een CO₂-kluis? Leidt de CO₂-compensatievisie met andere woorden de terugkeer in van de nauwe ‘bos is productiefabriek’-visie? Zal deze nauwe visie geen andere waardevolle ruimte op aarde in het gedrang brengen? Wat met het bebossen van bijzondere natuurgebieden? Of meer nog: durven we akkerlanden naar bossen om te vormen – want zegt de literatuur niet dat dit een efficiënte CO₂-compensatiemaatregel is? Maar slagen we dan wel nog om de voedselproblematiek aan te pakken?

Natuurlijk wordt alles hier redelijk drastisch voorgesteld en zou enige nuance bij de verschillende bedenkingen zeker niet misplaatst zijn. Toch moge het duidelijk zijn dat het bredere aspect niet uit het oog mag verloren worden. Dat bebossing slechts een methode is tot CO₂-compensatie en zeker niet het grote doel dat zonder meer overal uitgevoerd dient te worden.

Schattingen geven aan dat door middel van bosaanleg tegen 2100 slechts 5 à 7 % van de energiegerelateerde CO₂-emissies kan gecompenseerd worden (van Minnen et al., 2008). We moeten blijven nuanceren en relativeren: het uitbreiden van het wereldwijde bosareaal is niet de ultieme oplossing in het trachten stabiliseren van de atmosferische CO₂-concentratie. Het moet eerder gezien worden als een onderdeel in een breder pakket aan maatregelen, waarin vooral de maatregelen die de CO₂-uitstoot aan banden leggen dienen te overheersen. Toch kan ook opgemerkt worden dat compensatieprojecten door middel van bosaanleg erg handige tools zijn om het installeren van bos, een ecosysteemtype dat in de huidige wereld vaak erg onder druk staat, af te dwingen. Hoe kritisch deze projecten ook benaderd kunnen worden, aan de enorme waarde die een bos voor de mens kan betekenen, zal niemand echter twijfelen.

6. Conclusie

Door de dreigende klimaatopwarming is het hoogtijd dat de mensheid serieuze inspanningen levert om de verhoogde CO₂-concentratie in de atmosfeer terug te dringen. Eén van de veelbelovende methoden om dit te bewerkstelligen is door middel van 'afforestation', het bebossen van niet-bos percelen.

In deze scriptie werd bevonden dat deze bebossing inderdaad een effectieve manier is om koolstof op een duurzame manier uit de atmosfeer te halen en in het boscosysteem vast te leggen. Of deze methode ook kan opwegen tegen de gigantische uitstoothoeveelheden van de laatste decennia, moet echter wel in vraag gesteld worden. In de periode 1901-2008 werd maar liefst om en bij de 322 gigaton aan CO₂ meer uitgestoten dan de anderhalve eeuw ervoor, enkel en alleen door de verbranding van niet-hernieuwbare fossiele brandstoffen. In vergelijking met een maximum C-sequestratiesnelheid van ongeveer 590 g C/ha*jaar, zoals die in onze calculator gebruikt werd (zie tabel 4.1), wordt het al snel duidelijk dat bebossing zeker niet de heiligmakende oplossing is.

Uit de literatuurstudie bleek dat er veel stuurvariabelen meespelen in het koolstofsequestratiepotentieel van een bebost perceel. Deze variatie aan parameters resulteert in het zeer moeilijk kwantificeren van de sequestratiesnelheid voor één bepaalde casus. Om de bomen nog door het bos te kunnen zien, werd in deze scriptie beslist om enkele vereenvoudigingen door te voeren. Zo werd voornamelijk rekening gehouden met de relatief belangrijkste stuurvariabelen op de koolstofsequestratie door zowel levende vegetatie als bodem. Dit resulteerde in een beknopte tabel met richtwaarden, waaruit – indien goed toegepast – een degelijke schatting kan bekomen worden van het te bebossen oppervlak. Desalniettemin lijkt het ons waardevol om deze tabel nog serieus uit te breiden, om in het ideale geval elke mogelijke combinatie van een set van stuurvariabelen van een degelijke richtwaarde te voorzien. Aldus is een accurate schatting volgens ons mogelijk. Deze *tool* zou dan ook een grote dienst kunnen bewijzen in verscheidene bebossingsprojecten.

Vele organisaties proberen de mogelijkheid om met het aanplanten van een bos CO₂ te capteren, te kwantificeren. Deze kwantificatie laat vaak de wensen over en mist nog vaak een degelijke wetenschappelijke onderbouwing. De bestaande calculators hebben echter ook een belangrijke maatschappelijke rol. Zo kunnen ze mee ingezet worden in het motiveren en sensibiliseren van de bevolking.

7 Referenties

- AMELUNG, W., FLACH, K.W., ZECH, W., (1997). "Climatic effects on soil organic matter composition in the Great Plains." *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 115-123
- BARCENA, T. G., et al. (2014). "Soil carbon stock change following afforestation in Northern Europe: a meta-analysis." *Global Change Biology* 20(8): 2393-2405.
- BAUTERS, M., SPIESSENS, B., VAN DEN BERGE, S., VERDONCK, M. L., VOLCKAERT, M., VERHEYEN, K. (2011). "Ecosysteemdiensten in de praktijk: een studie voor de bossen van Geel-Bel." *ANTENNE [ANKONA]*, 5(4), 13-17.
- BERTHRONG, ST., JOBAGGY, EG., JACKSON, RB. (2009). "A global meta-analysis of soil exchangeable cations, pH, carbon, and nitrogen with afforestation." *Ecological Applications*, 19, 2228–2241.
- BLACK, K., et al. (2009). "Carbon stock and stock changes across a Sitka spruce chronosequence on surface-water gley soils." *Forestry* 82(3): 255-272.
- BJARNADOTTIR, B., et al. (2009). "A young afforestation area in Iceland was a moderate sink to CO₂ only a decade after scarification and establishment." *Biogeosciences* 6(12): 2895-2906.
- BOLIN, B., SUKUMAR, R., CIAIS, P., CRAMER, W., JARVIS, P., KHESHGI, H., STEFFEN, W. (2000). "Global perspective in land use, land-use change and forestry: A special report of the IPCC". Cambridge University Press, 23-52.
- BUIST, G., ZOMEREN, K., MOENS, F. (2010). "Bijzondere bomen in Nederland : 250 verhalen. Bomenstichting."
- COTRUFO, MF., WALLENSTEIN, MD., BOOT, CM., DENEFF, K., PAUL, E. (2013). "The Microbial Efficiency- Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter?" *Global Change Biology*, 19, 988–995.
- DEN OUDEN, J., MUYS, B., MOHREN, F., VERHEYEN, K. (2010). "Bosecologie en bosbeheer." *Acco*.
- DON, A., SCHUMACHER, J., FREIBAUER, A. (2011). "Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks - a meta-analysis." *Global Change Biology*, 17, 1658–1670.
- EPA (2012). "Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2010." U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. U.S. EPA #430-R-12-001 (PDF) (481 pp, 16.6MB, About PDF)
- FANTA, J. (1985). "Groeiplaats: onderzoek, classificatie en betekenis voor de bosbouw." *De Dorschkamp*.
- GRUNZWEIG, J. M., et al. (2007). "Biogeochemical factors contributing to enhanced carbon storage following afforestation of a semi-arid shrubland." *Biogeosciences Discussions* 4(4): 2111-2145.
- GUO, LB., GIFFORD, RM. (2002). "Soil carbon stocks and land use change: a meta-analysis." *Global Change Biology*, 8, 345–360.
- HARGREAVES, K. J., et al. (2003). "Carbon balance of afforested peatland in Scotland." *Forestry* 76(3): 299-317.

IPCC (2014). "Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment?" Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

IPCC report (2003). "Good Practice Guidance For Land Use, Land-Use Change and Forestry"

IPCC (2006). "Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories." Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. Task Force on National Greenhouse Gas Inventories.

JENKINSON, D.S., (1971). "The accumulation of organic matter in soil left uncultivated." Rothamsted Experimental Station Report, 1970, pp. 113–137.

LORENZ, K., LAL, R. (2010). "Carbon sequestration in forest ecosystems." Dordrecht: Springer.

LUYSSAERT, S., INGLIMA, I., JUNG, M., RICHARDSON, A. D., REICHSTEIN, M., PAPALE, D., MOORS, E. (2007). "CO₂ balance of boreal, temperate, and tropical forests derived from a global database." *Global change biology*, 13(12), 2509-2537.

NABUURS, G. J., SCHELHAAS, M. J. (2003). "Spatial distribution of whole-tree carbon stocks and fluxes across the forests of Europe: where are the options for bio-energy?" *Biomass and Bioenergy*, 24(4), 311-320.

O'CONNELL, A.M., SANKARAN, K.V., (1997). "Organic matter accretion, decomposition and mineralisation." Nambiar, E.K.S., Brown, A.G. (Eds.), *Management of Soil, Nutrients and Water in Tropical Plantation Forests*. Australian Center for International Agricultural Research (ACIAR), Canberra, ACT, Australia, pp. 443–480.

PAUL, C., et al. (2009). "Kohlenstoffbindung junger Aufforstungsflächen" PAUL, KI., POLGLASE, PJ., NYAKUENGAMA, JG., KHANNA, PK. (2002). "Change in soil carbon following afforestation." *Forest Ecology and Management*, 168, 241–257.

PEICHL, M., et al. (2014). "Carbon and greenhouse gas balances in an age sequence of temperate pine plantations." *Biogeosciences* 11(19): 5399-5410.

POEPLAU, C., DON, A., VESREDAL, L., LEIFELD, J., VAN WESEMAEL, B., SCHUMACHER, J., GENSIOR, A. (2011). "Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone - carbon response functions as a model approach." *Global Change Biology*, 17, 2415–2427.

POST, W.M., KWON, K.C., (2000). "Soil carbon sequestration and landuse change: processes and potential." *Global Change Biol.* 6, 317–328.

PRIANTE-FILHO, N., et al. (2004). "Comparison of the mass and energy exchange of a pasture and a mature transitional tropical forest of the southern Amazon Basin during a seasonal transition." *Global Change Biology*, 10: 863–876

RASSE, DP., RUMPEL, C., DIAGNAC, MF. (2005). "Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation." *Plant and Soil*, 269, 341–356.

RICHTER, D. D., et al. (1999). "Rapid accumulation and turnover of soil carbon in a re-establishing forest." *Nature* 400(6739): 56-58.

ROY, J., MOONY, H. A., SAUGIER, B. (Eds.). (2001). "Terrestrial global productivity." Academic Press.

SCHLESINGER, W.H., (1977). "Carbon balance in terrestrial detritus." *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 8, 51–81.

SHI SW., ZHANG, W., ZHANG, P., YU, YQ., DING, F. (2013). "A synthesis of change in deep soil organic carbon stores with afforestation of agricultural soils." *Forest Ecology and Management*, 296, 53–63.

SMITH, J., HEATH, L., SKOG, K., BIRDSEY, R. (2006). "Methods for calculating forest ecosystem and harvested carbon with standard estimates for forest types of the United States." Gen. Tech. Rep. NE-343. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station. 216 p.

SMITH, J., HEATH, L., NICHOLS, M. (2010). "U.S. Forest Carbon Calculation Tool User's Guide: Forestland Carbon Stocks and Net Annual Stock Change." General Technical Report NRS-13 revised, U.S. Department of Agriculture Forest Service, Northern Research Station.

SPANGENBERG, A., GRIMM, U., SEPEDA DA SILVA, J.R., FOLSTER, H., (1996), "Nutrient store and export rates of Eucalyptus urograndis plantations in Eastern Amazonia." *For Ecol. Manage.* 80, 225-234.

THUILE, A., et al. (2006). "Carbon dynamics in successional and afforested spruce stands in Thuringia and the Alps." *Global Change Biology* 12: 325-342
VAN MINNEN, J. G., STRENGERS, B. J., EICKHOUT, B., SWART, R. J., LEEMANS, R. (2008). "Quantifying the effectiveness of climate change mitigation through forest plantations and carbon sequestration with an integrated land-use model." *Carbon Balance and Management*, 3(3), 1-20.

WATSON, R. T., NOBLE, I. R., BOLIN, B., RAVINDRANATH N. H., VERARDO, D. J., DOKKEN, D. J. (2000). "Land use, land-use change and forestry: a special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change." Cambridge University Press.

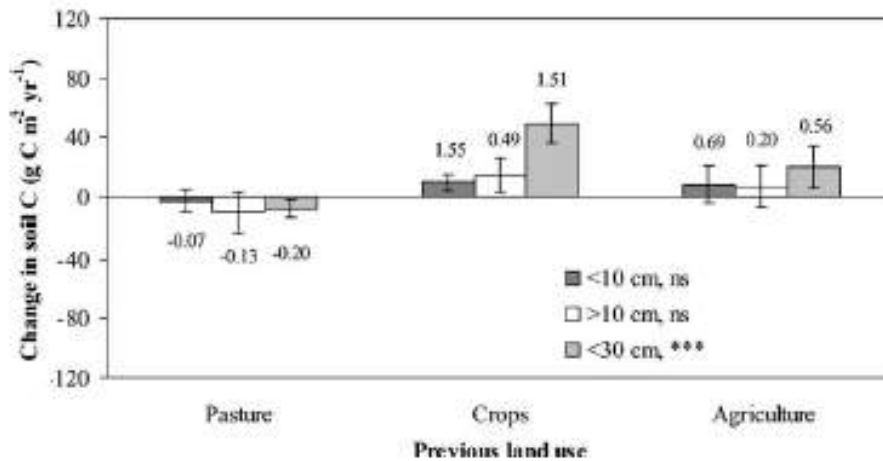
WOLF, S., et al. (2011). "Carbon sequestration potential of tropical pasture compared with afforestation in Panama" *Global change biology* 17: 2763-2780

ZINN, Y. L., et al. (2002). "Soil organic carbon as affected by afforestation with Eucalyptus and Pinus in the Cerrado region of Brazil." *Forest Ecology and Management* 166(1–3): 285-294.

ZOMER, R., et al. (2008). "Climate change mitigation: A spatial analysis of global land suitability for clean development mechanism afforestation and reforestation." *Agriculture, Ecosystems and Environment* 126: 67–80

8 Appendix

8.1 Figuren



App. Figuur 1 De gewogen gemiddelde verandering in SOC van drie verschillende dieptes, nl. <10, >10 of <30 cm voor drie verschillende voormalige landgebruikstypes: weideland, akkerland (gewas) en landbouw (rotatie begrazing & gewassen). De bars geven de standaardfouten op de gemiddelden weer. De cijfers duiden op het gewogen gemiddelde percentage van SOC-verandering, in % per jaar. Significantieniveaus: ns = niet significant, *** = $P < 0,001$. (Paul et al., 2002)

8.2 Tabellen

Treatment ^c	Litter (kg ha ⁻¹)
<i>Pinus</i> (clayey Oxisol)	37687*
<i>Cer.</i> (clayey Oxisol)	5791*
<i>Euc.</i> (loamy Oxisol)	7618*
<i>Cer.</i> (loamy Oxisol)	10908*
<i>Euc.</i> (sandy Entisol)	13884
<i>Cer.</i> (sandy Entisol)	13459

8.3 Extra informatie over deel 2

8.3.1 Beheersmaatregelen

De beheersmaatregelen, uitgevoerd op het beboste perceel, hebben een invloed op de koolstofinput naar de bodem en de afbraaksnelheid van het strooisel. Het staat dus buiten kijf dat deze variabele een invloed op het verloop van SOC-gehalte in de bodem.

Er zijn uiteraard veel manieren om een bebost perceel te beheren. Slechts enkele werden door Paul et al. (2002) bevonden een significant effect te hebben.

Bomen op een (ideale) vaste afstand aanplanten kan een effect op het SOC-niveau op korte termijn hebben, maar is verwaarloosbaar op langere termijn, gezien . Aangezien deze beheerpraktijk verregaande gevolgen heeft, zoals een andere lichtinval, met een verhoogde of verlaagde microbiële activiteit tot gevolg, en de kwantificering hiervan moeilijk is, wordt deze niet beschouwd in deze studie.

Het al dan niet bestrijden van onkruid heeft wel een belangrijke invloed op het SOC-gehalte in de eerste decennia na bebossing. Hoewel onkruid in competitie treedt met jonge bomen voor water en nutriënten, vormen ze ook een bron van zowel bovengrondse als ondergrondse -door afbraak van fijne wortels-koolstof voor de bodem, zeker in initiële fase van de bosgroei. Onder een 2-/3-jarige opstand van *Pinus radiata*-opstand werd een toename in SOC gevonden van maar liefst 390g per vierkante meter in de bovenste 15cm van de bodem. (Woods et al., 1992)

Tussentijdse dunning van de opstand is een andere mogelijke beheersmaatregel. Ook deze maatregel kan verschillende effecten hebben, bijvoorbeeld door het al dan niet verwijderen van de dunningsresten, het klimaat- of bodemtype, en wordt omwille van zijn complexiteit niet verder beschouwd.

Het onderzoek naar het gebruik van bemesting op beboste percelen brengt tegenstrijdige resultaten voort, die waarschijnlijk te danken zijn aan verschillen in kwaliteit tussen de verschillende sites. Ook deze beheersmaatregel wordt niet meegenomen in de studie.

Resh (1999) en Gill en Abrol (1990) vonden dat de toename in SOC onder aanplantingen van stikstoffixerende soorten groter was na bebossing, dan onder niet-stikstoffixerende soorten. Het gebruik van stikstoffixerende soorten, hetzij als aanplanting op zich, hetzij als onderetage onder niet-stikstoffixerende boomsoorten, heeft aldus de mogelijkheid om de SOC-accumulatie te versnellen. Deze mogelijkheid wordt in deze bespreking echter niet gekwantificeerd.

Ook vuurbeheer, rotatielengte en oogstwijze zijn beheerpraktijken die een invloed hebben op het SOC-gehalte na bebossing, maar worden in deze studie eveneens buiten beschouwing gelaten

8.3.2 Geschiedenis en voorbereidingswijze van het perceel

Gilmore en Boggess (1963) vonden dat het beheer van bodemorganische stof op het voormalige akkerland een grote invloed had op het SOC-verloop na bebossing met naald -en loofbomen. Op bodems waar de teeltresten werden verwijderd, steeg het SOC-gehalte met 61-81 g c/m², terwijl dit voor akkers waar de resten werden achtergelaten (en ev. ingewerkt) een daling optrad van 2-40 g C/m².

Ook het initiële SOC-gehalte heeft een grote invloed op het verloop van bodemkoolstof na bebossing. Dit gehalte werd uiteraard onder andere beïnvloedt door beheersmaatregelen, zoals bemesting en aanplanting van N-fixerende planten. Birk (1992) vergeleek het koolstofgehalte in de bovenste 8 cm van een *Pinus radiata* aanplanting op voormalig weiland, dat al dan niet stikstoffixerend klaver bevat. Initieel bevatte het weiland met klaver een hoger SOC-gehalte, met als gevolg dat de hoeveelheid SOC hierin vier keer sneller afnam in de eerste vijftien jaar dan grasland dat niet verrijkt werd door klaver.

De wijze waarop een perceel voorbereid wordt voor bebossing kan eveneens een invloed hebben op het initiële verloop van SOC. Mechanische verstoring kan bijvoorbeeld de decompositiesnelheid van organisch materiaal in de bodem versnellen door bodemoppervlakte te vergroten en verschillende cultivatietechnieken kunnen voor een sterk koolstofverlies leiden door wind -en watererosie (Paul et al., 2002). Door deze onderzoekers werd er echter geen significant verschil gevonden tussen verschillende intensiteiten van bodemvoorbereiding van het te bebossen grondstuk, zelfs niet in de eerste tien jaar na bebossing. Dit gegeven gecombineerd met andere onderzoeken die o.a. aantoonen dat ploegen een sterk effect had op het SOC-niveau op korte termijn -maar niet op lange termijn- doet vermoeden dat de

site preparation weinig invloed heeft op het SOC-gehalte en dat de initiële SOC-daling na bebossing eerder te wijten is aan het gebrek aan C-input, afkomstig van planten.

Er is aldus nog veel onduidelijkheid omtrent het effect van deze stuurvariabele op het SOC-verloop na bebossing.

8.3.3 Interactie tussen de stuurvariabelen

Vaak komen vaste combinaties van de stuurvariabelen voor. Zo worden bijvoorbeeld arme heidegronden in de meeste gevallen bebost met naaldbomen. In de meta-analyse, uitgevoerd door Bárcena et al. (2014), was dit voor heide het geval in 85% van de beschikbare data. Een verandering de SOC-voorraad in één van deze twee variabelen is dus niet los te koppelen van de andere, er is aldus sprake van interactie.

Bárcena et al. zijn bij de weinige onderzoekers die in hun analyse hiermee rekening hebben gehouden. Zij vonden onder andere dat interactiegroep ‘akkerland x naaldbomen’ en ‘naaldbomen x bodems met groffe textuur’ in de eerste dertig jaar na bebossing een significante SOC-daling met zich mee brachten. Dit effect was tevens groter dan de afzonderlijke situaties (bv. enkel naaldbomen).

Voor de beboste proefvlakken, ouder dan dertig jaar, werden vooral significante, positieve relaties gevonden, zowel voor de variabelen apart als de belangrijkste interactiegroepen. Voor grasland en bodems met fijne textuur, en hun interactiegroepen, werd daarentegen een negatieve SOC-evolutie gevonden. Deze uitkomst wijst er dus op dat bebossing op grasland en op bodems met fijne textuur zelfs op lange termijn leidt tot SOC-verlies.

In eenzelfde interactiegroep kan het voorkomen dat de twee variabelen een tegengestelde invloed op de SOC-voorraad hebben, wat bv. het geval is bij bebossing met naaldbomen (positief effect doorheen de tijd) op fijne bodems (negatief effect). Ook een versterking van de SOC-verandering in dezelfde richting kan voorkomen. Vaak werd de richting van SOC-evolutie in de interactiegroep echter vooral bepaald door enkel het voormalige landgebruik, wat nogmaals wijst op het grote belang van deze variabele op het verloop van het SOC-gehalte na bebossing.

De studie van de interacties tussen de verschillende stuurvariabelen is van statistisch complexe aard en wordt daarom niet opgenomen in deze bondige studie. Wel is het belangrijk om het concept van mogelijke interactie tussen variabelen in het achterhoofd te houden bij de interpretatie van de resultaten en conclusies.

8.4 Verduidelijking tabel 3.1

In deze sectie vindt men de algemene informatie over het initiatief: **naam**, de locatie van de **hoofdzetel** en van de **projecten**, de gehanteerde **bedrijfsvorm** (vzw of for profit) en het **startjaar**.

8.4.1 Berekeningen CO₂-compensatie

De calculators werden vergeleken op basis van hun gebruikte berekeningsmethode. Deze baseren zich vaak op verschillende studies of ander wetenschappelijk onderzoek. Er werden enkele parameters opgesteld met de eenvoudige vraag: houdt de calculator er rekening mee, of niet? Indien geen vermelding van de parameter werd gevonden werd, dit gelijk gesteld aan een neen.

Voor uitleg bij de eerste vijf parameters (**Bosleeftijd**, **Klimaat**, **Bodem**, **Boomsort** & **Voormalig landgebruik**) verwijzen we naar sectie 2: overzicht van de wetenschappelijke literatuur. Telkens wordt er tussen haakjes het relatief belang op respectievelijk de levende biomassa en bodem weergegeven.

Met **buffer** wordt bedoeld dat men meer bomen aanplant dan nodig is om de aangegeven hoeveelheid CO₂ te sequestreeren. Dit doet men om bij onvoorziene tegenslagen, zoals verlies van bomen door een of het afsterven van bomen door aanhoudende droogte, toch te garanderen dat de beloofde hoeveelheid CO₂ wordt sequestreerd. Zo planten sommige organisaties een bepaald percentage extra aan. Anderen garanderen bijvoorbeeld een extra tijdsperiode na afloop van het project, om dan mogelijke tegenslagen op te vangen.

De door de calculator berekende **hoeveelheid CO₂ per hectare per jaar** wordt meegegeven om vergelijk gemakkelijk te maken.

Natuurlijk is de wetenschappelijke achtergrond van de methode allesbepalend of de calculator ook accurate resultaten geeft. Onder '**wetenschappelijke bronnen**' worden de achterliggende studies of experimentele data, indien van toepassing, gegeven. Onder '**wetenschappelijk samenwerking**' worden de partners waarmee samengewerkt wordt voor de ontwikkeling van de calculator gegeven.

Bepaalde organisaties reiken **certificaten** uit als bewijs voor CO₂ vastlegging. Een certificaat van één van deze externe organisaties geeft veel meer onderbouw aan de geclaimde CO₂-vastlegging. Voor een overzicht van de gebruikte afkortingen, wordt verwezen naar het deel 'Certificaten, labels en externe audits'

8.4.2 Sociaaleconomisch

Duurzaamheid draait niet alleen om compensatie van uitstoot, maar ook om de verbetering van leefomstandigheden en een gezonde economische situatie. Zo zal een herbebossingsproject dat zeer verlieslatend is, hoogstwaarschijnlijk niet lang bestaan. Daarnaast zijn er vragen over het beheer van het bos tijdens het project. In tegenstelling tot bepaalde bouwwerken, is bosaanleg een werk van lange adem. Wat gebeurt er dan met de bomen tijdens de pakweg 40 jaar dat ze groeien? Sommige projecten worden uitgevoerd in een ontwikkelingsland, waar de lokale bevolking soms hun inkomsten uit (illegale) houtkap halen. Als deze mensen geen alternatieve inkomsten kunnen vinden, zal de houtkap gewoon doorgaan, met het risico dat het net aangeplant bos direct weer gekapt wordt, wat dus niet voor sequestratie zal zorgen. Inkomsten voor lokale bevolking kunnen gecreëerd worden door hen tewerk te stellen in de bossen die zijn aangeplant.

Bij het aanplanten van nieuw bos moet rekening gehouden worden met de huidige **lokale economie**. Indien men bijvoorbeeld beslist zomaar een landbouwoppervlakte te bebossen, en de lokale boeren te verdrijven, zal dit een zware impact hebben op de situatie van de lokale bevolking. In het geval dat er toch een zekere negatieve impact op de lokale economie wordt veroorzaakt, dan wordt er best gezorgd voor alternatieven voor de bevolking. Herbebossing kan natuurlijk ook leiden tot extra economische groei in de regio. Zo kan extra werkgelegenheid en welvaart gecreëerd worden.

'**Samenwerking met lokale bevolking**' houdt in dat men de bevolking informeert over de projecten en dat het bos eventueel beheerd wordt door de lokale bevolking. Communicatie en participatie met de bevolking zijn hier de sleutelwoorden voor garantie op duurzame en verantwoorde bebossing. Deze parameter gaat nauw samen met 'lokale economie'.

Onder **beheersvorm** wordt het onderscheid gemaakt tussen bos in eigen beheer of in samenwerking met een andere (lokale) organisatie. Sommige calculators kiezen ervoor om grond te kopen om deze vervolgens te bebossen, terwijl anderen bossen aanleggen op grond van bedrijven, overheden of particulieren zonder deze te kopen. Bos in eigen beheer heeft het voordeel dat de controle geheel in de handen van de organisatie ligt, maar in samenwerking met de lokale bevolking of overheden worden

bovenstaande punten met betrekking tot “sociaal economisch” veel gemakkelijker gerealiseerd, bovendien moet er minder kapitaal aangewend worden.

8.4.3 Ecologie

In heel dit verhaal van CO₂ compensatie staat de opwarming van de aarde en het broeikaseffect centraal. Als we dit proberen (deels) tegen te gaan door compensatie zou het jammer zijn op andere vlakken schade te berokkenen. Het is dan ook uitermate belangrijk dat deze bebossing op zijn minst gebeurt zonder extra schade aan de fauna en flora, en liefst een ondersteunend effect heeft.

Vaak wil men bij bebossing de oorspronkelijk samenstelling terug. Hiervoor is het noodzakelijk om **autochtoon materiaal** te gebruiken, welke het liefst uit de omgeving afkomstig is.

Ook de **grote** van het project is belangrijk. Kleine projecten zullen niet in staat zijn om een ecosysteem te creëren met meerder trofische niveaus, terwijl een groot bebossingproject meer draagkracht heeft en zo complexere en een grotere hoeveelheid populaties kan bevatten.

Aanplanting van **monocultuur** is zeer hard productiegericht en zal de biodiversiteit niet ten goede komen. **Mengculturen** zullen een grotere biodiversiteit herbergen, wat alleen maar positief is, niet enkel voor fauna en flora maar vaak ook voor de CO₂ captatie.

Worden de bossen zo aangeplant om bepaald soorten of hun habitat te beschermen, of is enkel CO₂captatie het doel? Vaak gaat **biodiversiteit** en CO₂ captatie samen in het kader van duurzaamheid.

Ook op dit niveau worden **labels** toegekend. Deze hebben nu betrekking op het effectieve bosbeheer en de inspanningen in verband met ecologie. Voorbeelden zijn onder andere CCBA, REDD+ & FSC (appendix 6.5.2).

8.4.4 Gebruiker

In deze sectie wordt de gebruiksvriendelijkheid van de calculator en de doelgroep van de calculator bestudeerd. Als meer mensen deze calculators gaan raadplegen in de toekomst, is het belangrijk dat er een duidelijke communicatie naar de gebruiker toe is, alsook dat deze calculators gemakkelijk raadpleegbaar zijn.

Wat is precies de **doelgroep** van de calculators? De gebruikers van deze calculators kunnen onderverdeeld worden in twee groepen. Enerzijds zijn er de bedrijven, ondernemingen en overheidsinstanties die hun CO₂ uitstoot willen compenseren. Anderzijds zijn er de particulieren die hun alledaagse uitstoot willen compenseren. Natuurlijk is ook een combinatie mogelijk. Dit verschil in doelgroep heeft vooral een invloed op de omvang van het project. Om een particulier zijn uitstoot te compenseren zal veel minder oppervlakte nodig zijn dan om de uitstoot van een bedrijf te compenseren.

Transparantie organisatie is een maat die iets vertelt over hoe goed de organisatie de gebruiker informeert van wat er precies met zijn financiële bijdrage gebeurt. Als de organisatie in kwestie een bedrijf is, dan zal er ook winst gemaakt worden, wat meestal resulteert in een hogere prijs voor dezelfde compensatie dan in het geval van een vzw. Ook is het goed om als gebruiker te weten hoeveel geld in de administratie, infrastructuur en dergelijke, wordt geïnvesteerd en welk deel effectief wordt gebruikt voor de aanplanting van bomen.

Als men wil dat deze calculators geraadpleegd zullen worden, dan moet men ze toegankelijk en **gemakkelijk te gebruiken** maken voor het grote publiek. Ze hebben allemaal een site, maar is deze ook

gemakkelijk om te gebruiken. Is deze duidelijk genoeg? Werkt de site goed, zijn er technische problemen? Tegenwoordig mag men ook niet vergeten om apps en dergelijke beschikbaar te stellen.

Natuurlijk is het ook aangenaam om resultaat te zien van je compensatie. Daartoe wordt de vraag gesteld of de **projecten te bezichtigen** zijn. Voor bedrijven is dit interessant aangezien ze kunnen uitpakken tegenover overheden en andere bedrijven met hun goede inzet, wat hun alleen maar ten goed kan komen. Maar ook is het leuk als particulier om eens de plaats te kunnen bezoeken waar je bomen staan. Voor de organisaties zelf is dit ook een soort van ‘bewijs’ dat ze effectief aanplanten en werk leveren, wat geloofwaardigheid met zich meebrengt.

Deze geloofwaardigheid wordt ook verstrekt door ‘**labels**’ of ‘**externe audit**’. Deze geven aan dat de organisatie transparant zijn en/of dat de organisatie intern efficiënt met geld omgaat.

Tenslotte is er nog een niet te verwaarlozen factor: de **prijs per ton CO₂**. Als een bedrijf CO₂ neutraal kan zijn voor 10 000 euro of voor 5000 euro dan zal de keuze snel gemaakt zijn.

8.5 Certificaten, labels en audits

Elk initiatief claimt natuurlijk allerhande zaken te verwezenlijken. Ze claimen een bepaalde hoeveelheid CO₂ vast te leggen, ze claimen aan duurzame bosbouw te doen, ze claimen slecht een bepaalde hoeveelheid van de donaties aan hun werking te besteden, ... Hoewel deze intenties mooi zijn, blijven ze lege woorden als ze niet worden gevalideerd door externe instanties. Ten eerste kan de geclaimde CO₂-compensatie door een extern orgaan gevalideerd worden. Dit kan eventueel gepaard gaan met de uitreiking van certificaten en/of verhandelbare CO₂-credits. Daarnaast zijn er ook instanties die labels uitreiken op vlak van duurzaam bosbeheer. De gebruiker wenst natuurlijk dat met zijn donatie een project (deels) wordt gerealiseerd, en dat zo weinig mogelijk geld blijft hangen op verschillende niveaus. Daarom laat een calculator best zijn boekhouding nakijken door een extern auditbureau, om zo de transparantie naar de gebruiker te verhogen. Ook dit kan eventueel gepaard gaan met het uitreiken van een label. Al deze certificaten, labels,... geven een gewicht aan de gemaakte claims. We bespreken hieronder de belangrijkste.

8.5.1 CO₂-certificaten

8.5.1.1 VCS: *Verified Carbon Standard*

Deze certificaten worden uitgereikt aan allerhand projecten die de immissie van broeikasgassen trachten te verminderen, ook (her)bebossingsprojecten vallen hier onder. Er zijn 10 minimum criteria waaraan een project moet voldoen om het Verified Carbon Standard label te verkrijgen.

1. Het project moet in te delen zijn in één van de vooraf vastgelegde categorieën.
2. De reductie moet toegepast worden op één van de 6 broeikasgassen die in het Kyotoprotocol zijn vastgelegd.
3. Het reductieproject moet gestart zijn na 1 januari 2000.
4. De periode moet een enkele periode zijn van 10 jaar, startend op de startdatum van het project.
5. De grenzen van het project moeten alle menselijke emissies omvatten, zowel de primaire emissies als de secundaire. Er kan maar met 1 grens worden gewerkt om verdubbeling te vermijden.
6. Secundaire effecten moeten geïncorporeerd worden in de berekeningsmethode.
7. De berekeningsmethode om de reductie in emissies te bepalen moet de CDM Executive board goedgekeurd. Verschillend combinaties tussen goedgekeurde methodes kunnen gebruikt worden.

8. De emissiereductie moet sterker zijn in dan wanneer het project niet wordt uitgevoerd.
9. Het project mag geen negatieve impact hebben op de duurzame ontwikkeling van de lokale maatschappij.
10. Het project moet gebruik maken van het meest recente emissie monitoring protocol, die is goedgekeurd door de CDM executive board of de JI supervisory committee

8.5.1.2 CDM: Gold Standard

De Gold Standard is een standaard voor het creëren van hoge kwaliteiten reductieprocessen binnen het Clean Development Mechanism (CDM), Joint Implementation (JI) en de Voluntary Carbon Market. Het is ontwikkeld om te verzekeren dat 'carbon credits' niet enkel controleerbaar zijn, maar dat ze ook een meetbare bijdrage leveren aan de wereldwijde duurzame ontwikkeling. Het doel is om een merk of label toe te kennen aan nieuwe en bestaande projecten. Deze kunnen dan gekocht worden door landen die een juridische verbintenis hebben met het Kyoto protocol.

De 'Gold Standard' wordt gesteund door WWF en is het meest strenge certificaat voor koolstofsequestratie projecten. Het verzekert dat de energie efficiëntie en hernieuwbare energie projecten ook effectief een reductie in CO₂ emissies veroorzaken en dat de lokale bevolking betere levensomstandigheden krijgen.

Gold Standard projecten moeten voldoen aan volgende criteria:

- Het project moet bijdragen aan een vermindering in CO₂ emissies.
- De lokale bevolking moet mee betrokken worden in het project.
- Het project bevordert de kennis en ervaring op vlak van hernieuwbare energie en technologie in ontwikkelingslanden.
- Het project respecteert het milieu en draagt bij aan de bescherming van biodiversiteit en het duurzaam gebruik van natuurlijke bronnen.

8.5.1.3 SGS

SGS S.A. (formerly Société Générale de Surveillance) is een multinational bedrijf, dat zich bezighoudt met de inspectie en verificatie van gewicht en kwaliteit van verhandelbare goederen. Ook test het op gezondheid en veiligheid en enkele andere gebruikelijke standaarden. Zo is de gebruiker zeker dat het product voldoet aan de eisen van de overheid.

8.5.1.4 Plan Vivo

Plan Vivo is een groepering van verschillende gemeenschappen om hun natuurlijke bronnen duurzamer uit te baten.

Plan Vivo werkt volgens volgend systeem:

1. Gemeenschappen beslissen welk landgebruik het meeste risico inhoudt door het lokaal ecosysteem en welke interessant is en waarde hebben voor hen.
2. Mogelijke activiteiten waar certificaten voor worden uitgereikt zijn: bebossing, agroforestry, bos bescherming, bosherstelling en het vermijden van boskap.
3. Elke producent of producentengroep schrijft zijn eigen landbeheersplan, waar de verschillende activiteiten zijn in uitgelegd.
4. Elke deelnemer of groep past zijn activiteiten aan zijn eigen omstandigheden en prioriteiten aan.

5. Elk plan wordt gecontroleerd door de projectcoördinator op vlak van haalbaarheid, technische benodigdheden en of het de deelnemers hun levensomstandigheden ten goede komt. Hiervoor worden de methodes gebruikt die goedgekeurd zijn door Plan Vivo.
6. Aan de hand van geschreven afspraken tussen de groepen/procenten en de projectcoördinator wordt een betaling vastgelegd en verdere voortzetting van technische ondersteuning.
7. De projectcoördinator monitort het plan. Wanneer een deelnemer een afgesproken doel bereikt kan/zal betaling overgemaakt worden zoals afgesproken.

8.5.2 Duurzaam bosbeheer

8.5.2.1 CCBA: Climate, Community and Biodiversity

Alliance

De Climate, Community and Biodiversity Standards (CCB Standards) evalueren landbeheersprojecten van begin tot einde .

De CCB Standards identificeren landbeheersprojecten die een netto positief effect hebben voor de klimaatverandering, lokale gemeenschappen en biodiversiteit. De CCB Standards kunnen toegepast worden op elke vorm van landbeheersproject, ook deze die GHG uitstoot reduceren afkomstig van ontbossing of van vermeden degradatie van andere ecosystemen, alsook projecten die koolstof sequestreeren. Deze standaard leidt niet tot een kwantificering van de emissiereductie en dient daarmee gebruikt te worden in combinatie met andere labels zoals CDM en VCS.

8.5.2.2 FSC

Het FSC-boscertificaat is een internationaal label of keurmerk op een hout- of papierproduct dat aangeeft dat het product afkomstig is uit een duurzaam beheerd bos. FSC staat voor 'Forest Stewardship Council', de internationale organisatie die het certificaat uitreikt.

8.5.2.3 REDD+

Dit zijn vijf principes met betrekking tot: biodiversiteit, klimaat, levensomstandigheden, rechten en eerlijke handel samenbrengt. Dit label slaat zowel bij ecologie als op sociaal economisch.

Dit houdt in:

- Reduceren van broeikasgassen
- Behouden van diversiteit en ecosystemendiensten
- Bijdragen aan verbeterde levensomstandigheden van de lokale bevolking
- Respecteren van de rechten van de lokale bevolking.
- Adequaat, eerlijk en transparant exploiteren van de grondstoffen.

8.5.3 Bedrijfsvoering

8.5.3.1 CBF

CBF is een erkenning voor het feit dat wij als een ontwikkelingsorganisatie op een verantwoorde en efficiënte wijze opereren. Eén van de eisen van het CBF is beperkte overheadkosten: maximaal 25% van onze inkomsten mag aan fondsenwerving worden besteed.