



Achtergronddocument 1

**De uitdaging van meten, monitoren en
verwaarden van bodemkoolstof**

Dit document is een achtergrondrapport van het project *Credits for Carbon Care*, uitgevoerd door CLM, LBI en Alterra

April 2013

1. Inleiding

1.1. Ecosysteemdiensten, koolstof en de bodem

Het begrip "ecosysteemdienst" (ESD) staat sinds een aantal jaren meer centraal in beleid. Een ESD is een dienst die door een ecosysteem aan mensen wordt geleverd. Het betreft het verstrekken van een product door een ecosysteem (bijvoorbeeld drinkwater), of van een regulerende dienst (bijvoorbeeld bestuiving van gewassen), of van een culturele dienst (bijvoorbeeld gelegenheid geven tot recreatie) of van een dienst die de voorgaande diensten ondersteunt (bijvoorbeeld de kringloop van nutriënten in een ecosysteem) (zie Tabel 1).

Tabel 1 Indeling van functies en bijbehorende ecosysteemdiensten (TCB, 2003; Van der Wal et al., 2008).

Ecosysteemdiensten RBB systematiek	
Productiefunctie	1. Nutriëntenretentie en levering 2. Bodemstructuur en organische stof 3. Ziekten en plaagwering
Weerstand en flexibiliteit	4. Weerstand tegen stress, herstelvermogen 5. Flexibiliteit. Vermogen tot omzetting naar ander bodemgebruik.
Milieufuncties	6. Fragmentatie en afbraak van organisch materiaal 7. Zelfreinigend vermogen 8. Waterretentie/waterregulatie 9. Klimaatfuncties (vocht, temperatuur, broeikasgassen)
Habitatfunctie	10. Bescherming diversiteit en landschap, habitat

Ecosysteemdienst Klimaat (ESDK) is een regulerende dienst, waarbinnen voordelen worden gehaald door het regelen van ecosysteem processen of functies.

Deze functies kunnen onderverdeeld worden in functies die te maken hebben met:

Adaptatie: voorkomen van erosie (verlies van vruchtbare grond), plaagcontrole, afzwakken van impact van extreem weer (overstromingen, bescherming tegen storm, langdurige droogte), vochtregulerend vermogen, lokale klimaatregulatie (vocht, temperatuur)

Mitigatie: reductie van uitstoot van koolstofdioxide en andere broeikasgassen en opslag van koolstof.

De bodem speelt een cruciale rol in veel van bovengenoemde diensten. En een bodem met voldoende organische stof is weer beter in staat om die diensten te leveren. Binnen ESDK speelt de reductie van CO₂-uitstoot een belangrijke rol. Binnen dit project wordt vooral gekeken naar landbouwbodems met de focus op zowel reductie van CO₂-emissie als CO₂ verwijdering uit de

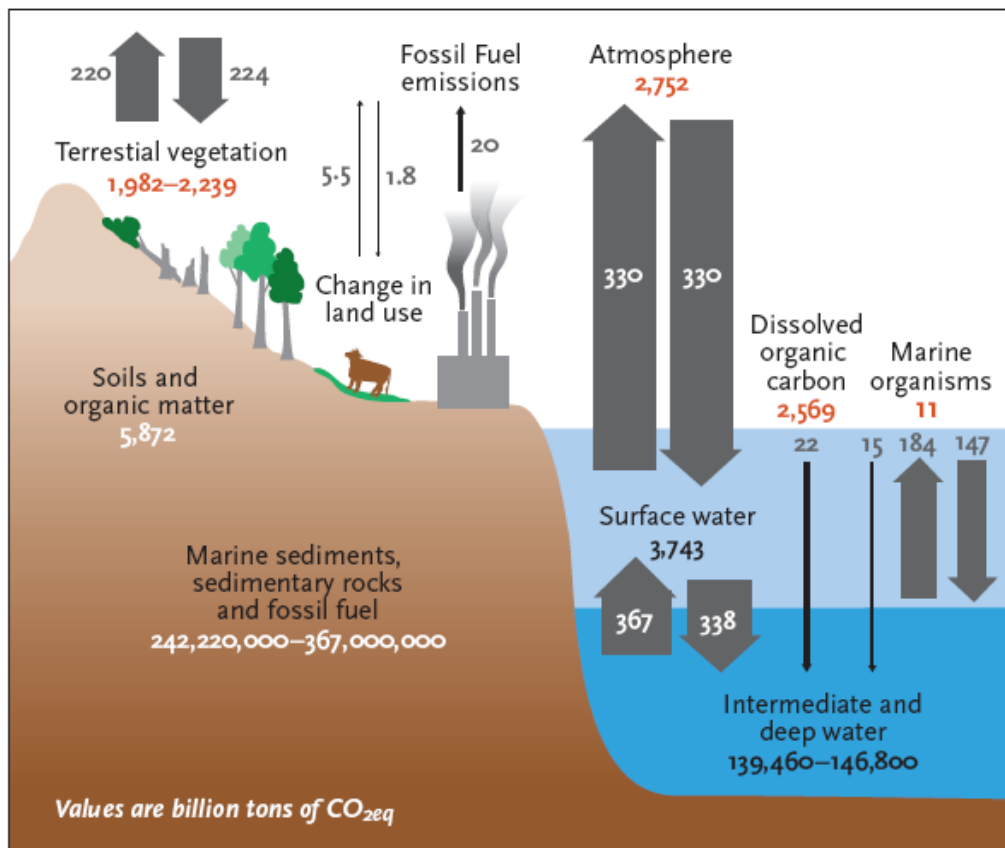
atmosfeer in de vorm van C (koolstof) vastlegging in de bodem. Deze twee ecosystemendiensten zijn binnen de landbouw onlosmakelijk met elkaar verbonden.

De economische waarden die aan een regulerende dienst kan worden gekoppeld is er een van *indirect use value*. Er kan niet direct gebruik worden gemaakt van het voordeel dat deze dienst met zich meebrengt, maar de diensten worden indirect gebruikt voor de zogenaamde voorzienende ecosystemendiensten (zoals voedselproductie en schoon drinkwater).

1.2. De drievoudige uitdaging

Het klinkt eenvoudiger dan het is, CO₂ vastleggen, het meten van die vastlegging, en dan slimme manieren vinden om deze dienst te vergoeden en ervoor te (laten) betalen. Dit is – in een notendop - de drievoudige uitdaging van dit project.

In de huidige landbouwpraktijk neemt het organisch stofgehalte van bodems in Nederland gemiddeld niet af of toe; in Europa neemt het op veel plaatsen af en vooral onder bouwland. Als het gehalte organische stof al toeneemt is het niet zeker dat die koolstof voor langere tijd (twintig tot vijftig jaar of meer) in de bodem blijft zitten. Het vasthouden van koolstof in de bodem vergt inspanning en vermijden of verminderen van bepaalde en gangbare landbouwpraktijken zoals grondbewerking. Wel is het zeker dat bij een permanente extra toevoeging van organische stof aan de bodem de stijging van het organische stofgehalte na verloop van tijd afzwakt. Uiteindelijk vindt er geen verdere toename van het organische stofgehalte meer plaats als een nieuw evenwicht tot stand is gekomen. Dit proces van evenwicht bereiken speelt op een termijn van een aantal



Figuur 1 (Scherr and Sthapit, 2009).

decennia (20–100 jaar). Onderstaande figuur geeft een beeld van de kwantiteit en complexiteit van de koolstofhuishouding en kringloop in ecosystemen en bodems op mondiale schaal.

Bodems zijn op enig moment of sink (put) of source (bron) van CO₂. En bodems kunnen gemakkelijk en frequent van sink in source veranderen en omgekeerd. De netto aanvoer van organische stof kan sterk variëren van jaar tot jaar en is vooral afhankelijk van management en in mindere mate van weer. Het is niet onder alle omstandigheden gewenst om een toename van organische stof in Nederland te hebben (meer is beter); in een aantal gevallen is er landbouwkundig winst te behalen met efficiënter omgaan met de voorraad bodem organische stof (genoeg is genoeg). De eerste **uitdaging** is daarom om een selectie van effectieve maatregelen op bedrijfsniveau zo in te passen dat een verlies van koolstof vermindert en liefst een netto toevoer van koolstof plaatsvindt en tegelijk productiviteit van gewassen (en mineralisatie van nutriënten) op peil blijft.

Een **tweede** uitdaging is om de effecten van de maatregelen te voorspellen, te meten en gedurende langere tijd betrouwbaar te monitoren. Het waarnemen, meten en monitoren van veranderingen in organische stof-voorraden in specifieke bodems over korte periodes (<5 jaar) levert onzekere resultaten. Dat komt door de grote ruimtelijke variatie in de bodems, en door onnauwkeurigheid in de metingen zelf. Toch is het voor de motivatie van landbouwondernemers van belang te weten of de goede richting is ingezet. De uitdaging is dan ook om een aantal andere koolstof indicatoren te vinden die als proxy kunnen dienen voor veranderingen in de voorraad organische stof en CO₂-vastlegging en die kunnen dienen om tot certificering en verwaardiging van deze ecosysteemdienst te komen.

Naast bovenstaande twee fysieke uitdagingen is er ook een **derde** maatschappelijke en bedrijfseconomische uitdaging. Boeren zijn (noodgedwongen door lage prijzen, maar ook uit gewoonte) vaak gericht op korte termijnresultaat en reageren direct op winst en verlies in de nabije toekomst van hooguit enkele jaren. Zorg voor een gezonde bodem vraagt een lange termijnvisie en aanpak die zich ook pas op langere termijn uitbetaalt in de vorm van handhaven of verbeteren van het productievermogen van de grond. Het is te vergelijken in karakter en eigenschappen met beleggen en pensioenopbouw. De derde uitdaging is dus om de blik van de boeren meer te richten op de horizon, op de lange termijn, op hun kinderen en opvolgers en op de 'ware' gedachte achter het begrip duurzame ontwikkeling. En om maatschappelijke partijen zoals banken, Groenfonds, bedrijfsleven, publieke organisaties zoals gemeentes en provincies, en uiteindelijk ook betrokken burgers, te interesseren en te engageren om deel te nemen in maatschappelijke financiering van een ecosysteemdienst klimaat via koolstofbeheer en CO₂-vastlegging in de landbouw.

2. Koolstofbeheer

Carbon Care staat voor het verbeteren van koolstofopslag of het behouden van koolstof in de bodem door het toepassen van maatregelen binnen de landbouw of bosbouw die deze opslag kunnen verbeteren. In onderstaand hoofdstuk wordt omschreven wat er met koolstofbeheer wordt bedoeld en hoe dit beheer aangepakt moet worden.

2.1. Koolstof in de bodem

Koolstof komt op natuurlijke vorm in de bodem voor als organische stof. Organische stof (OS) is organisch materiaal wat afkomstig is van plant en dier. Planten geven organische stof door de producten die achter blijven in de bodem na de oogst (wortels), of de restproducten die (nog) geen marktwaarden hebben (plantenresten). Dierlijke mest bestaat uit niet verteerde plantenresten en heeft een koolstof gehalte tussen de 1% en 50%, afhankelijk van het soort mest dat wordt gebruikt.

Planten groeien van de afbraakproducten van OS, omdat er dan voedingsstoffen beschikbaar komen. Deze afbraak vindt plaats door het aanwezige bodemleven. OS bestaat voor een groot deel uit koolstof (ongeveer 50%). Bij de omzetting en afbraak van OS door het bodemleven komt CO₂ vrij. In de huidige landbouwpraktijk neemt het gehalte van OS van bodems in Nederland gemiddeld niet af of toe; in Europa neemt het organische stof gehalte licht toe waarbij vooral afname is op akkerland en toename op permanent grasland en onder bos (zie rapport Climsoil van Schils et al., 2010).

Voor koolstof in de bodem zijn 2 aspecten van belang: de actueel in de bodem aanwezige grootte (C-voorraad) die goede bescherming behoeft omdat zonder bescherming (meer) afbraak van organisch materiaal met meer CO₂ uitstoot plaatsvindt, en de flux (aan- en afvoer) van OS, die door specifieke ingrepen kan worden beïnvloed. Beide aspecten hangen nauw samen en kunnen eigenlijk niet zonder elkaar maar om praktische redenen worden en kunnen ze ook afzonderlijk benaderd worden.

Er zijn dus twee belangrijke factoren om rekening mee te houden als het om koolstof in de bodem gaat:

- Koolstof behouden: efficiënt omgaan met de aanwezige koolstof in de bodem en verliezen van koolstof beperken.
- Koolstof toevoegen: toename van de flux van koolstof naar de bodem in combinatie met beheer gericht op behoud van koolstof.

De activiteiten die bijdragen aan koolstofbehoud en koolstofaanvoer zijn:

- Koolstof behouden: huidig landmanagement zodanig veranderen dat verliezen van koolstof lager zijn zonder extra aanvoer van koolstof en zodanig dat aanvoer van koolstof minder snel wordt afgebroken en verloren gaat.
- Koolstof toevoegen: toename van de bemesting met organisch materiaal zoals dierlijke mest/ gewasresten/ bermmaaisel/ compost (HTK-afval) of toename van de productie via bemesting of andere (bodem)maatregelen.

De gehalten aan organische stof in Nederlandse bodems variëren grofweg tussen 1 en 10% tot hoger in specifieke bodems. Er bestaan geen vaststaande getallen voor een optimaal C-gehalte in de bodem. Voor de landbouw in Nederland wordt wel uitgegaan van minimumwaarden van 2% organische stof (ruim 1% koolstof) voor zandgronden, oplopend tot 4% organische stof (ruim 2% koolstof) voor zwaardere kleigronden omdat organische stof gunstige effecten heeft op de bodem.

Een bodem met voldoende organische stof is veerkrachtig en kan beter hevige regenval verwerken of juist perioden van droogte doorstaan. Beide situaties gaan in Nederland vaker voorkomen als gevolg van de verwachte klimaatverandering. Tegelijkertijd is het vastleggen van CO₂ een belangrijke klimaatmaatregel om de verhoging van de concentratie van CO₂ in de atmosfeer te temperen. Daarnaast heeft OS positieve effecten op mineralenhuishouding, waterretentie, beworteling, bodemstructuur, bodemvruchtbaarheid, bodemgezondheid en bodembiodiversiteit. Bovendien helpt een toename van organische stof in de bodem emissies van CO₂ tegengaan én kan CO₂ als additionele koolstof vast worden gelegd.

2.2. Beheer van koolstof

Gebalanceerd bodembeheer gericht op behoud van voldoende organische stof kan zowel de boer ten goede kunnen komen via behoud of verhoging van productie van gewassen, als aan maatschappelijke wensen op het gebied van duurzaamheid en milieu tegemoet komen. Met zijn relatief grote oppervlakte grond kan de landbouw daarom een belangrijke bijdrage leveren aan enerzijds vermindering van emissies (mitigatie) en anderzijds het veilig stellen van biomassa- en voedselproductie en andere maatschappelijke diensten zoals waterbergend vermogen door aanpassing (adaptatie). Verstandig omgang met en goed managen van koolstof en organische stof in de bodem –carbon care – speelt hierin een hoofdrol.

De netto balans van koolstoftoevoer of -verlies is de resultante van twee grote bruto stromen van C vanuit fotosynthese via plantenresten en dieren naar de bodem en CO₂ naar de atmosfeer via biologische afbraak van organische verbindingen in die bodem. Dit delicate evenwicht is te beïnvloeden en zodanig te beheren dat het verlies van organische stof in de vorm van CO₂ wordt beperkt.

2.3. Systeembegrenzings

Om de effecten van maatregelen in te schatten moet duidelijk zijn waar de grenzen liggen van het systeem, tot waar onze berekening reikt.

We beschouwen de bodem als de primaire eenheid, waarbij we alleen kijken naar wat er aan koolstof toegevoegd en onttrokken wordt aan de bodem. De afvoer is eenduidig: afbraak van bodem organische stof waardoor het organische stof gehalte in de bodem daalt en CO₂ naar de atmosfeer wordt afgestaan. De hoogte van de gewasproductie speelt dus in eerste instantie geen rol, maar kan in een breder verband wel meegenomen worden.

Immers, indien een bedrijf met een zelfde (CO₂-)input een hogere productie haalt dan een ander bedrijf, dan kan dit op bedrijfsniveau tot een netto betere CO₂-balans leiden, omdat koolstof in de wortels opgeslagen zit. Als de productie verhoogd, worden er ook meer wortels gevormd. Er zal dus meer C opgeslagen worden in de bodem, ook al gaat het om zogenaamde kortcyclische koolstof.

Als ondergrens wordt de diepte aangehouden, waarin het merendeel van koolstof in de bodem wordt opgeslagen en waar invloed op kan worden uitgeoefend. Wortels van planten kunnen tot 1 meter diep groeien, afhankelijk van het gewas, maar aangezien de grootste C-opslag en C-veranderingen in de bovenste 30 cm zitten, wordt voor deze diepte gekozen. Dit sluit aan bij wat gebruikelijk is als het gaat om bodem organische stof. Bij kerende grondbewerkingen dieper dan 30 cm moet een aangepaste benadering op maat gemaakt worden. Ook bij veengronden moet de ondergrens dieper gelegd worden.

De enige uitzondering voor deze bodemgerichte begrenzing is de teelt van vaste planten en laanbomen en het verschralen van natuurgebieden door middel van afplaggen of afgraven, waarbij ook bodem organische stof wordt afgevoerd in pot, kluit of geplagde grond. Deze productie-eenheden hebben dus twee typen afvoer van koolstof, namelijk afbraak door bodemleven en

fysieke afvoer, en die moeten apart benaderd worden. Binnen deze studie wordt dat in eerste instantie niet verder uitgewerkt.

2.4. Terugkoppelingen en afwenteling

Naast de bodem CO₂-balans zijn er nog diverse zaken die in de analyse betrokken moeten worden. Het heeft immers minder nut om de hoeveelheid bodem koolstof op te voeren als daarvoor méér dan evenredig koolstof verbruikt wordt of anderszins negatieve terugkoppelingen optreden.

- Het nemen van maatregelen zal meestal gepaard gaan met CO₂-kosten. Die drukken het overall effect dus naar beneden – denk aan dieselgebruik bij aanvoeren mest. Het gericht nalaten van een handeling zal vaak negatieve kosten met zich meebrengen, dus in CO₂-termen uitgedrukt CO₂-winst. Dit wordt meegenomen om het overall effect op de CO₂-balans te benaderen, waarbij dus uitdrukkelijk breder gekeken wordt dan alleen naar de bodem CO₂ balans.
- De te nemen maatregel kan binnen de systeemgrenzen – de grond van het bedrijf of het bedrijf in kwestie als geheel – een positief effect hebben, maar een even groot of zelfs groter negatief effect buiten het systeem. Zulk soort maatregelen helpt dus niet. Er kan echter ook een positief effect in andere schakels van de keten optreden, wat weer meegeteld kan worden.
- Maatregelen kunnen een positief of negatief effect hebben op de N₂O en de CH₄ dynamiek, twee gassen die een veel sterkere broeikaswerking hebben dan CO₂. Hierdoor kan een positief effect op de bodem CO₂ balans teniet worden gedaan. Ook daar houden we rekening mee.
- Maatregelen om CO₂ uitstoot te verminderen kunnen een direct gevolg hebben op bemestingsadviezen. Een lage bemesting van stikstof stimuleert toename van biomassa bijvoorbeeld, wat een direct gevolg kan hebben voor de opbrengst van gewassen (van den Pol van Dasselaar en Lantinga, 1995).
- Wanneer er maatregelen genomen worden die het organische stofgehalte van de grond verhogen maar die zelf CO₂-kosten met zich meebrengen moet er goed gekeken worden naar de verhouding tussen opbrengst en kosten op termijn. Aangezien een toenemend gehalte bodem-organische stof onvermijdelijk leidt tot toenemende afbraak en dus tot een nieuw evenwicht op een hoger niveau zal op termijn (> 50 – 100 jaar) géén netto CO₂-groei in de bodem meer plaatsvinden terwijl de (CO₂-)kosten nog wel gemaakt moeten worden voor instandhouding van het nieuwe evenwicht. Op echt lange termijn eindigt dus iedere maatregel die CO₂-kosten met zich meebrengt in een negatieve balans, tenzij er op andere punten alsnog winst behaald kan worden uit het nieuwe evenwichtsgelalte bodem organische stof. Zie daarvoor het volgende punt.

Bodem als fundamenteel productiemiddel voor een groot deel van de landbouw is niet alleen een CO₂-source of sink maar kent vele eigenschappen die vertaald kunnen worden in ecosysteemdiensten. Bodem organische stof speelt een sleutelrol in diverse ecosysteemdiensten, en een hoger gehalte aan organische stof kan dus via een hogere bodemkwaliteit – lees: beter functionerende ecosysteemdiensten – een positieve bijdrage leveren in de balans. Het is echter vooralsnog niet mogelijk dit betrouwbaar te kwantificeren en om te rekenen in CO₂-winsten.

2.5. Effecten door maatregelen

Op het boerenbedrijf, in zowel akkerbouw als tuinbouw en veehouderij, kunnen maatregelen uitgevoerd worden die een positief effect op de koolstofbalans van de bodem hebben. Om deze maatregelen te ordenen wordt de volgende indeling aangehouden:

- A. Toevoer van organische stof van buiten het bedrijf.
- B. Extra productie van organische stof binnen het bedrijf.
- C. Verlaging van de afbraaksnelheid van organische stof in de bodem.

Bij A moet grote aandacht geschonken worden aan externe effecten. Compost strooien is een bekende en makkelijke manier om het organische stof gehalte van de grond te verhogen. Met als systeemgrens 'bodem' ligt CO₂-winst voor de hand, maar op grotere systeem-schaal hoeft dat niet zo te zijn omdat elders de CO₂ juist onttrokken kan worden.

Voor A en B geldt dat toename van het organische stof gehalte begrensd is, zie systeem-begrenzingsen.

Voor het realiseren van A en B zullen meestal (CO₂-)kosten gemaakt worden. Er zijn veel maatregelen die vallen onder zowel B als C. Een overzicht van de maatregelen staat in tabel 2.

Tabel 2 Lijst van mogelijke maatregelen.

Type	Aard	Maatregel
A	Toedieningen	Compost: afhankelijk wijze composteren en type compost, groencompost, GFT compost en compost van eigen gewasresten
A	Toedieningen	Biochar
A	Toedieningen	Steenmeel; olivijn of andere mineralen
A	Toedieningen	organische meststoffen toevoegen (gemiddeld)
A B	Toedieningen	Dierlijke mest (i.p.v. kunstmest): mestsoort afhankelijk
B	Akkerbouw / Weidebouw	Plaatsen van hagen/ agroforestry
B	Akkerbouw	Gewasresten onderploegen: gewas afhankelijk
B	Akkerbouw / Weidebouw	Irrigatie droge gronden
B	Beweidingsmanagement	Verbeterde grassoorten mix
B	Akkerbouw	Gewasrotatie met jaarlijkse gewassen
B C	Akkerbouw	Conservation till
B C	Akkerbouw	Zomerbraak vermijden
B C	Akkerbouw	Winter covercrops
B C	Akkerbouw / weidebouw	Gewasrotatie met vaste planten
B C	Akkerbouw -> Weidebouw	Vaste planten i.p.v. 1 jarige gewassen
B C	Beweidingsmanagement	Rotatiebeweiding
B C	Landconversie	Bouwland naar grasland
B C	Landconversie	Bouwland naar natuur
B C	Landconversie	Omschakelen naar hout(ige)gewassen i.p.v. voedselgewassen
C	Akkerbouw	No-till
C	Akkerbouw	Verminderen/ optimaliseren bestaande irrigatie gronden
C	Weidebouw	Irrigatie graslanden
C	Veenmineralisatie tegengaan	Terugbrengen naar natuurlijke staat
C	Veenmineralisatie tegengaan	Aanpassen management
C	Veenmineralisatie tegengaan	Van gewassen met veel grondbewerking naar gewassen met weinig grondbewerking
C	Veenmineralisatie tegengaan	Handhaven hoog grondwaterpeil
C	Veenmineralisatie tegengaan	Tegen gaan ploegen
C	Veenmineralisatie tegengaan	Niet draineren
C	Landconversie	Herstel natte gebieden (niet veen gronden)

3. Meten en Monitoren

3.1. Systeemgrenzen

Voor het vaststellen van de gerealiseerd CO₂ reductie is het nodig een project of maatregel af te bakenen middels een systeemgrens. Een systeemgrens dient zo te worden gedefinieerd dat het alle veranderingen in reducties en toenames omvat. Is de systeemgrens te klein dan worden niet alle effecten van een maatregel meegenomen. Is de systeemgrens te ruim dan wordt de analyse nodeloos ingewikkeld. Het op de juiste wijze vaststellen van de systeemgrens is daarmee van groot belang voor de effectiviteit, de werkbaarheid en het draagvlak, bij de uitvoerders en afnemers van de credits, van de maatregel.

De systeemgrens van een koolstof landbouwproject omvat zowel fysiek, juridisch als organisatorisch grenzen. De eisen aan systeemgrenzen verschillen per standaard. Bij sommige standaards zijn de systeemgrenzen stikt gedefinieerd andere zijn minder afgebakend en beoordelen dat per project.

Belangrijke aspecten bij het vaststellen van de systeem grenzen zijn:

- de systeemgrootte: het agrarisch bedrijf vs de gehele wereld, hoe diep in de bodem wil je kijken;
- de processen;
- de gassen: methaan (CH₄), Stikstofdioxide (N₂O), hydrofluorcarbonaten (HFCs), perfluorcarbonaten (PFCs) en sulfaat hexafluoride (SF₆);
- de duur: het aantal jaren dat een handeling moet of niet mag worden uitgevoerd;
- eigendoms- en overdrachtskwesties.

Kader: Buitenlandse voorbeeldinitiatieven gericht op koolstofopslag in de bodem

Er zijn diverse initiatieven in het buitenland opgezet die gebruikt kunnen worden als model voor een Nederlands systeem. De initiatieven bieden inspiratie, maar zijn vaak (nog) niet concreet toepasbaar in Nederland. Een aantal van deze initiatieven:

Naam	Omschrijving
Technical Working Group on Agricultural Greenhouse Gases (T-AGG)	een organisatie in de VS die technische kennis, data en expertise in kaart brengt aangaande het reductiepotentieel van maatregelen, en voor het ontwikkelen van protocollen. Parallel zijn twee andere initiatieven opgezet. De M-AGG initiative (mechanisme for Agriculture Greenhouse Gases)die richt zich op het benchmarken van emissies en het evalueren van protocollen en methodologie. Recentelijk hebben zij een overzicht gegeven van de stand van zaken aangaande modellen voor het kwantificeren van GHG en protocollen (markt, rechten). Hun bevindingen zijn positief met betrekking tot de mogelijkheden voor quantificeren en verwaarden van emissierechten in de landbouw. Het ander initiatief is C-AGG (Coalition on Agriculture Greenhouse Gases). Dit is een brede coalitie van ketenpartijen, wetenschap, beleid, investeerders, NGO's etc. met als doel identificeren en weghalen van bottle necks door ontwikkelen/ stimuleren van beleid, wetenschap, protocollen, projecten etc. gericht op mitigatie en sequestratie in de landbouw.
Mitigation of Climate Change in Agriculture (MICCA)	een programma van de FAO voor het verbeteren van kennis en data en testen van het broeikaspotentieel van reductie maatregelen met de focus op ontwikkelingslanden.
Global research alliance on agricultural GHG (GRA)	in opdracht van deelnemende landen onderzoeken zij kennis hiaten, coördineren onderzoek en dienen als een platform voor informatie uitwisseling en convergentie.
Reducing Emissions from All Land Uses (REALU)	initiatief van het World Agroforestry Centre.
Climate Change Agriculture and Food Security (CCAFS)	initiatief van de Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR) gericht op het geven van technische, institutionele en beleidsondersteuning aan landbouw strategieën ter bevordering van de weerbaarheid van de landbouw tegen klimaatverandering.

3.2. Meten, berekenen, benaderen of schatten van resultaten van maatregelen

Het meten en monitoren van veranderingen in organische stof-voorraden in specifieke bodems over korte periodes (<5 jaar) is moeilijk. Het levert resultaten op met een relatief grote variatie en onzekerheid in omvang als gevolg van grote ruimtelijke variatie, onnauwkeurigheid in de metingen zelf en het grote verschil in volume tussen de voorraad en de aanwas ervan. Toch is het voor de motivatie van landbouwondernemers van belang te weten of de goede richting is ingezet als er maatregelen worden genomen, en wat voor kwantitatief effect verwacht mag worden. De uitdaging is dan ook om een aantal andere indicatoren te vinden die als *proxy*¹ kunnen dienen voor veranderingen van CO₂-vastlegging en veranderingen in de voorraad van organische stof die kunnen dienen om tot certificering en verwaardiging van deze ecosysteemdienst te komen. Dit moet leiden tot een wetenschappelijk gefundeerd en transparant systeem voor plannen, berekenen, monitoring, rapportage en beloning van CO₂-vastlegging, waarbij het pakket maatregelen en de proxy-indicatoren worden uitgewerkt tot een complete *koolstofbalans*. Het volgende deel gaat nader in op methoden om bodemkoolstof in te schatten.

3.3. Proxy's voor bepalen van koolstof in de bodem

Proxy's zijn indirecte indicatoren die gebruikt worden om een moeilijk te meten variabele in te schatten. Een proxy voor de koolstof in de bodem moet nauwkeurig, transparant en consistent zijn. De waarnemingen via een proxy moeten controleerbaar en verifieerbaar zijn door een externe organisatie. Er kan een onderscheid worden gemaakt tussen proxy's die koolstof bepalen voor een duidelijke certificering van koolstof in de bodem en proxy's die voor boeren als leidraad gebruikt kunnen worden om op een snelle manier inzicht te verschaffen over de actuele hoeveelheid koolstof in de bodem.

Als proxy voor koolstof, bekeken vanuit certificering, is een koolstofbalans een goede basis om koolstof op bedrijfenniveau te bepalen. Deze balans wordt verder uitgelegd in

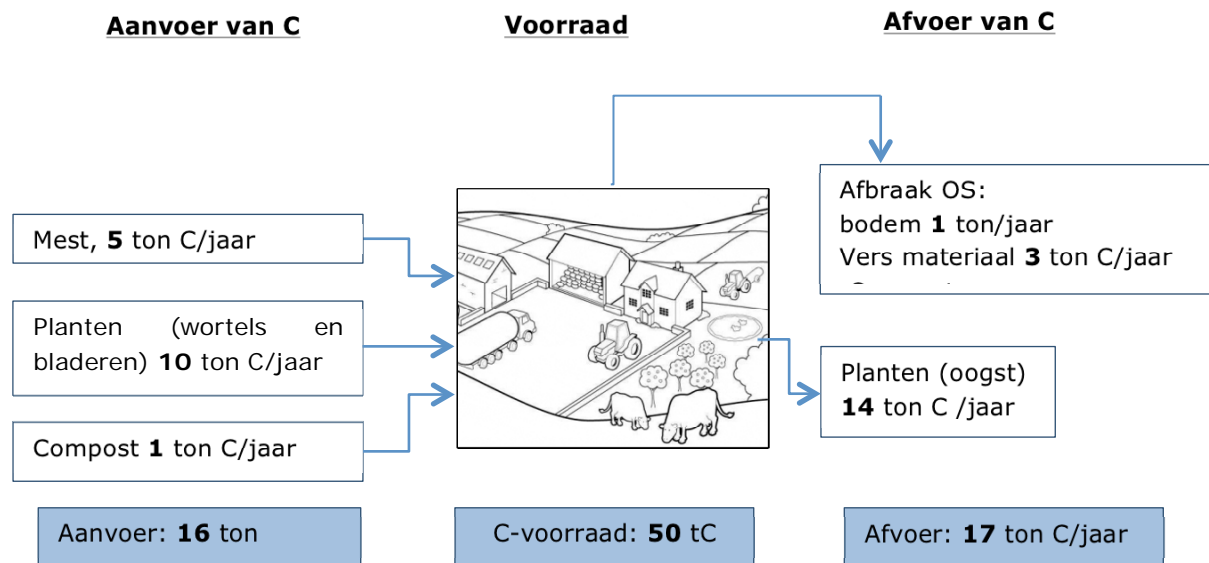
Een voorbeeld van een proxy die in het veld is getest om de hoeveelheid organische stof in de bodem te kwantificeren is beschreven in een artikel van de Universiteit van Iowa (Konen et. al, 2003). Dit onderzoek bestaat uit de relatie van organische stof met kleur, vochtigheid, reflectie en korrelgrootte.

Significante logaritmische relaties zijn gevonden voor reflectie en kleur, significante lineaire relaties voor korrelgrootte. Vooral de relatie tussen kleur en hoeveelheid organische stof in de bodem kan een waardevolle tool zijn om in het veld direct te kunnen kijken wat een benadering is van de hoeveelheid C in de bodem.

Bij een vergelijking van kleurbeschrijvingen en een chromatest in het laboratorium, was het resultaat dat beide mogelijkheden van het bepalen van C in de bodem tot 66% correlatie hadden tussen gevonden koolstof gehalten en voorspelden koolstofgehalten. Aangezien de kleur van de bovenste laag in een bodem vaak toegeschreven wordt aan de hoeveelheid organische stof in de bodem en de dieper gelegen lagen door het pigment van het moedermateriaal, moet er rekening worden gehouden met de diepte waar naar gekeken wordt. De belangrijkste hoeveelheid van C zit in de bovenste 30 cm en hier kan door middel van landbouwmanagement ook de grootste invloed op worden uitgeoefend.

Nadat er een vergelijking is gemaakt tussen een steekproef aan een bepaalde hoeveelheid oppervlakkige monsters van een perceel en een kleurenkaart, kan met behulp van het perceel oppervlakte en dichtheid van de bodem een schatting worden maken van de hoeveelheid actuele C in de bodem.

In figuur 2 wordt voor een koolstofbalans een bedrijfssysteem gegeven met verschillende in- en outputs.



Figuur 2 In- en outputs van koolstofstromen in boerenbedrijf.

3.3.1. Aanvoer

De koolstof aanvoer die op de boerderij worden aangevoerd bestaan uit plantaardig materiaal en ander organisch materiaal van buitenaf (mest, compost). Daarnaast kan er koolstof toegevoegd worden door de aanvoer van planten- en wortelresten. Dit materiaal kan van de boerderij zelf komen, maar kan ook aangevoerd worden van externe bedrijven. Vooral in het eerste jaar zal dit verse materiaal sterk afbreken onder invloed van zuurstof en het bodemleven, voordat het overgebleven deel toegevoegd wordt aan de voorraad koolstof in de bodem. Als stelregel wordt alle koolstof die na het jaar van toediening nog in de bodem aanwezig is, toegekend aan de hoeveelheid koolstof in de bodem; dit noemen we de effectieve koolstof.

3.3.2. Afvoer

Naast vers aangevoerd materiaal dat op een bedrijf wordt gebracht, zit er al koolstof in de bodem in de vorm van organische stof. Dit materiaal zal ook onder invloed van zuurstof en bodemleven afbreken, waarbij de snelheid waarmee het afbreekt langzamer zal verlopen, omdat het organisch materiaal in de bodem omgezet is tot complexere structuren waar geen makkelijke invloed op uit kan worden oefenen als dat bij vers toegediend materiaal. De afbraaksnelheid en de kwaliteit van het overgebleven materiaal is afhankelijk van de herkomst van het uitgangsmateriaal, de toepassing, het soort uitgangsmateriaal en de grondsoort. Organische stof zal, wanneer het is blootgesteld aan zuurstof, altijd afgebroken worden door het aanwezige bodemleven. Dit gebeurt met een factor die door Kolenbrander (1964) door middel van proeven is vastgesteld op $\pm 2\%$ van de hoeveelheid aanwezige organische stof in de bouwvoor van Nederland.

3.3.3. Koolstof budget

Om een koolstoftoename in je bodem te krijgen, moet de aanvoer groter zijn dan de afvoer. Aanvoer bestaan uit biomassa en mest, afvoer bestaat naast de afbraak van organische stof uit de bodem uit de afbraak van de biomassa en mest. Als de inputs groter zijn dan de outputs, zal er toename van koolstof in de bodem zijn. Zijn de outputs groter dan de inputs, dan zal er afname van koolstof in de bodem zijn. In figuur 2 is de aanvoer 16 ton C /jaar, de afvoer 17 ton C/ jaar.

De C die wordt aangevoerd is niet direct de C die in de bodem komt als bodem C; de C die wordt aangevoerd is de C die na een jaar nog steeds in de bodem is te vinden. Er moet rekening worden gehouden met de effectieve organische stof in de toe-en afgevoerde biomassa en mest die het systeem komt. Het verschil tussen aan- en afvoer van de verschillende fluxen is dus de netto aangevoerde C in de bodem. Voor compost is de effectieve organische stof ongeveer 14% per ton aangevoerde biomassa, een toevoer van 14 kg/jaar zal dus een hoeveelheid C toevoeren die 1 ton C /jaar is, voor mest ligt dit tussen 0.5% en 28% per ton aangevoerde mest, afhankelijk van de mestsoort. Voor de C aanvoer geldt dus dat per aangevoerde ton biomassa of mest ongeveer 3 tot 100 kg effectieve koolstof wordt toegevoegd aan de bodem. De C-voorraad is 50 ton C en de afbraak die hiermee gepaard gaat bedraagt ongeveer 2% per jaar. Dit zal dus ongeveer 1 ton C per jaar zijn. Dit getal moet via C aanvoer worden toegevoegd, als je geen afname van de totale koolstof in je bodem wil hebben.

3.3.4. Input stroom vergroten

Een manier om de koolstof in de bodem zo groot mogelijk te laten worden is om de aanvoer van koolstof naar de bodem zo groot mogelijk te maken. Dit betekent een toename van biomassa en mest stromen. Onherroepelijk zal dit ook betekenen dat de afbraak groter wordt in absolute zin; een dubbele hoeveelheid mest, zal ook een dubbele hoeveelheid aan afbraakmateriaal geven uit deze mest.

3.3.5. Output stroom verkleinen

Door de afbraak van organisch materiaal te verkleinen bij een stabiele toevoer van organisch materiaal wordt er ook gezorgd voor een toename van koolstof in de bodem, omdat de afbraak verminderd. Zoals al eerder opgemerkt is er een verschil tussen de afbraak van vers organisch materiaal en materiaal wat al langer in de bodem aanwezig is. Deze beide afbraaksnelheden worden door dezelfde factoren beïnvloed (hoeveelheid organisch materiaal, zuurstof en bodemleven) en veranderingen aan deze factoren zullen beiden afbraaksnelheden veranderen. Deze veranderingen oefenen een indirecte invloed uit op de omstandigheden waarin organische stof afbreekt; dit wordt minder optimaal. Deze factoren zijn beschreven in tabel 2.

3.3.6. Evenwichtssituatie

Figuur VV. geeft 2 situaties waarin er een hoeveelheid C in de bodem en in de tijd wordt weergegeven. In plaats van te streven naar een toename van C opslag in de bodem (rode stippellijn) kan er ook gekeken worden naar de hoeveelheid C die in de bodem aanwezig is en om deze niet te laten afnemen (groene lijn geeft een afname). Het stabiel houden van de hoeveelheid C in de bodem (zwarte stippellijn) zorgt voor een evenwicht waarin er niet meer CO₂ wordt opgeslagen, maar waar er ook niet meer CO₂ ontstaat. Er zijn maatregelen nodig om de hoeveelheid koolstof die in de bodem zit in evenwicht te houden. Het verschil tussen de evenwichtssituatie en de mogelijke toename of afname kan gebruikt worden om te berekenen wat de mogelijke meerwaarde is om het systeem stabiel te houden. De vraag is hoe de verschillen

tussen de evenwichtslijn en de eventuele toe- of afname van C toe te kennen aan een boerenbedrijf (dubbele pijlen in figuur).

3.4. Uitdagingen voor het bepalen van koolstofopslag

3.4.1. Heterogeniteit van de bodem

De landbouw is zeer divers in gewasrotaties, landbewerking en bemesting. Dit maakt dat het effect van maatregelen per agrariër/ gebied verschilt. Het effectief monitoren van de behaalde emissiereductie vergt daarom een methodiek die om kan gaan met verschillende managementstijlen, gewassen en grondsoorten. Net zoals dat de afbraak van organische stof afhankelijk is van bijvoorbeeld de herkomst van het uitgangsmateriaal, de toepassing en het soort uitgangsmateriaal, zo kan ook de opbouw van organische stof in de bodem beïnvloed worden door verschillende factoren die ertoe bijdragen dat C-targets in bepaalde gebieden makkelijker te halen zijn dan in andere gebieden. Een belangrijk onderdeel van het meten van koolstofopslag is dus de impact van de landbouwgrond voordat de basislijn is vastgesteld. In het geval dat de landbouwgrond wordt beschouwd als in een "evenwichtssituatie", waarbij de veranderingen die na de referentiewaarden zijn gemaakt, exclusief effect hebben op de toestand van organische stof in de bodem, zal er een onderschatting worden gemaakt van de mogelijkheid om koolstof op te slaan in verschillende bodemtypen.

3.4.2. Lage 'signal-to-noise ratio'

En specifieke uitdaging voor organische stof vastlegging is het meten van de relatief kleine verandering in relatie tot de bestaande grote voorraad OS.

Er is een hoeveelheid koolstof aanwezig in het systeem zelf, de C-voorraad of C-stock. Er komt koolstof bij via toedieningen zoals gewasresten, bemesting en compost, en er gaat koolstof uit door activiteit van het bodemleven: de flux. De C-voorraad is vele malen groter dan de jaarlijkse flux. Een vuistregel die in Nederland gehanteerd wordt is dat 2% van de aanwezige organische stof per jaar afgebroken wordt waardoor koolstof verdwijnt als CO₂. In een systeem dat in balans is, is de voorraad dus ruwweg 50 maal zo groot als de flux. Bij een bodem met 2,5% gewichtsprocent organische stof, over 25 cm diepte, een soortelijk gewicht van 1,35 kg/liter en een de organische stof een C-gehalte heeft van 58%, is er bijna 50 ton koolstof/ha (bijna 180 ton CO₂/ha) in voorraad.

3.4.3. Onzekerheden

C-vastlegging in landbouwbodems kan eenvoudig ongedaan worden gemaakt door natuurlijke oorzaken als brand en ziekten en plagen of door menselijk handelen. Daarom dienen mechanismen ontwikkeld te worden die deze risico's verminderen. Bestaande mogelijkheden zijn, reserves/buffers opbouwen, contracten, erfdiensbaarheid, verzekeringen en premies.

3.4.4. CO₂ wegleffect (leakage)

Het CO₂ wegleffect is het onbedoeld effect op broeikasgasemissies buiten de gekozen systeemgrenzen. Daardoor wordt de gerealiseerde reductie (deels) te niet gedaan². Het CO₂ wegleffect kan door verschillende redenen ontstaan:

- Als het nationale beleid leidt tot een toename van de kosten waardoor activiteiten worden verplaatst naar een land met een soepeler beleid met lagere kosten. Op een wereldwijde schaal nemen de emissies hierdoor niet af en kunnen zelf toenemen.
- Als nationaal milieubeleid een heffing of toeslag geeft op bepaalde producten of goederen waardoor de vraag naar CO₂ intensieve producten afneemt en de prijs daalt. In landen die een dergelijke heffing of toeslag niet hanteren zal de vraag daardoor stijgen waardoor het effect teniet wordt gedaan.

Meestal heeft het CO₂ wegleffect een negatief effect op de emissies echter het kan ook positief zijn. Positieve CO₂ effecten houdt in dat reductie beleid of maatregel ook buiten de systeemgrenzen van een project reductie in broeikasgassen bevordert. Bijvoorbeeld, emissie reductie beleid kan leiden tot de ontwikkeling van technieken die ook buiten het beoogde beleidsveld bijdragen aan broeikasgasreducties. Dit positieve effect noemen we spil-over.

Standards verschillen in de eisen gesteld aan het meenemen van CO₂ wegleffecten in hun protocollen. Het meenemen van alle wegleffecten kan lastig of zelfs onmogelijk zijn. Bij sommige standards hoeven bepaalde soorten wegleffecten daarom niet te worden uitgezocht. Wel blijkt dat met name voor CO₂ vastleggingsprojecten (landbouw en niet landbouw) het meenemen van wegleffecten belangrijk is. Zijn de wegleffecten slecht of niet gekwantificeerd dan ondermijnd dat de geloofwaardigheid van de gerealiseerde reductie en de robuustheid van de maatregel. De kwaliteit van de analyse naar wegleffecten zijn vaak doorslaggevend in het goedkeuren van vastleggingsprojecten en het verstrekken van credits.

In de landbouw zijn CO₂ wegleffecten minder een probleem dan voor zogenaamde AR projecten (afforestation en reforestation) (FAO, 2009). Dit geldt met name als de productiviteit gehandhaafd blijft of zelfs toeneemt tgv C-sequestratie maatregelen. Echter met name bij land conversie waarbij productiviteit wordt verplaatst (direct of indirect) zijn er risico's op wegleffecten. Voor AR projecten zijn er verschillende strategieën om leakage te voorkomen ontwikkeld. Deze strategieën zijn ook toepasbaar voor de landbouw.

Protocollen verschillen in de eisen gesteld aan het meenemen van CO₂ wegleffecten. Het meenemen van alle wegleffecten kan lastig of zelfs onmogelijk zijn. In sommige protocollen hoeven bepaalde soorten wegleffecten daarom niet te worden uitgezocht

Voor de koolstoflandbouw maatregelen en een eventuele verwaarding daarvan dienen de wegleffecten gekwantificeerd en waar mogelijk vermeden te worden.

3.4.5. Kennis en data tekort

Voor het nauwkeurig bepalen van het potentieel van een gebied is veel informatie nodig. Vaak is deze incompleet of verspreid over diverse instanties.

3.4.6. Kosteneffectiviteit

Bij de opzet van een systeem moet een goede balans gevonden worden tussen accurate informatie en realistische kosten.

² De IPCC omschrijft leakage bij koolstof sequestratie als: "a carbon sequestration activity on one piece of land inadvertently, directly, or indirectly, triggers an activity which counteracts the carbon effects of the initial activity."

3.4.7. Certificering

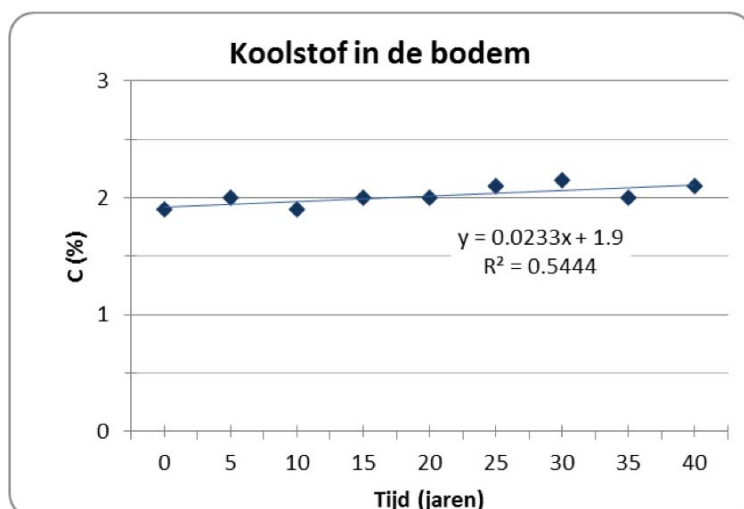
Om positieve of negatieve effecten van maatregelen op het organisch stof gehalte vast te stellen, moet dat gehalte kunnen worden waargenomen. Zulke waarnemingen zijn mogelijk en bestaan uit het meten van de voorraad organische stof in de bodem op verschillende tijdstippen. Maar deze waarnemingen zijn ook moeilijk om verschillende redenen:

- Veranderingen gaan langzaam – een kengetal is dat de voorraad 50 maal groter is dan de jaarlijkse flux.
- Grote variatie tussen en binnen percelen – 10-20 jaar is nodig om afdoende precisie in de voorraad organische stof te kunnen meten.
- Mogelijkheid tot manipulatie – kiezen van locatie met veel of weinig organische stof.

Voor de procedure om certificering van koolstof in de bodem te gaan toepassen is het van belang het systeem te begrijpen. Een voorbeeld hiervan is al uitgelegd in het vorige hoofdstuk door middel van koolstofbudgetten. Een ander belangrijke factor is gebruik maken van een onafhankelijke organisatie die gecertificeerd is in het analyseren van koolstof in de bodems. Deze metingen dienen herhaald te worden om het verloop van de koolstof in de tijd te kunnen weergeven. Aangezien de koolstofaanvoer naar de bodem een langzaam proces is, is dit geen meting die elk jaar moet gebeuren; een meting elke 5 jaar zou een redelijke aanpak zijn om kleine veranderingen in de loop van de tijd waar te nemen. Misschien zijn deze verschillen niet in de eerste jaren zichtbaar, maar over 20 jaar bekeken moet er uit de verschillende waarnemingen duidelijk te zien zijn hoe de trend van koolstofopbouw op boerderij niveau zich ontwikkeld (figuur 4).

Een boer zal in deze periode gestimuleerd moeten worden om landmanagement op zijn land toe te passen dat ertoe leidt dat koolstofopslag op zijn land wordt vergroot of in ieder geval zeker niet afneemt. Hier zal aandacht aan moeten worden besteed en dit zal voor een deel ook de slagingspercentage Hierdoor kan er ook gedacht worden om een referentiesituatie op te bouwen om dit te toetsen: een gedeelte van het land bewerken zonder specifieke maatregelen die ertoe lieden dat er koolstof opbouw plaatsvindt en een deel waar dit wel plaatsvindt. Dit kan zijn door bijvoorbeeld ploegfrequentie te veranderen, gewasteelt aan te passen of plantenmateriaal niet af te voeren.

Als belangrijkste voorwaarde moet er voldaan worden aan een continue maatregel, waarbij er geen onderbrekingen of veranderingen in het management mogen plaatsvinden die positieve effecten van een maatregel teniet kunnen doen. Dit geldt bijvoorbeeld voor *no-tillage* waarbij er als maatregel niet meer wordt geploegd om de afbraak van organische stof in de bodem te verminderen. Als er eenmalig wel met een ploeg wordt gewerkt, dan zal de opbouw van de organische stof in de periode van *no-tillage* teniet worden gedaan.



Figuur 4 Voorbeeld van koolstofverloop op bedrijf over 40 jaar gemeten met 5 jaar tussenpozen. De waarde van de nullijn start in jaar 0.

3.5. Modellen met organische stof pools

Modellen kunnen een rol spelen bij een trendanalyse van koolstof in de bodem bij bepaald landgebruik. Hierdoor wordt het mogelijk om een indicatie geven van de koolstofopbouw over een periode die langer is dan de daadwerkelijk gemeten waarden. Door middel van scenario's of gevoeligheidsanalyses kan een inkijk worden gegeven over hoe bodemkoolstof reageert op bepaalde omstandigheden, zoals klimaatsveranderingen en managementaanpassingen.

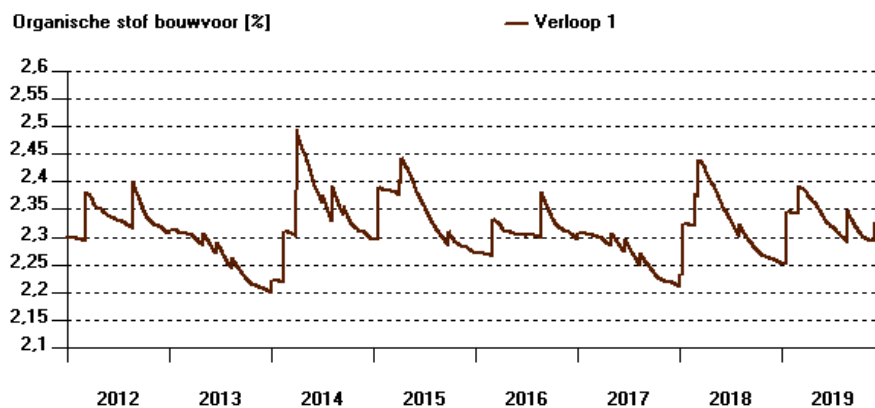
Enkele voorbeelden van modellen die gebruikt kunnen worden voor koolstofsimulatie zijn:

Miterra-Nederland

Miterra–Nederland is een ondersteunend model dat wordt gebruikt om de emissies van broeikasgassen in de Nederlandse landbouw te bepalen. Hierin is tot op heden geen mogelijkheid gevonden om specifieke gewassen te koppelen met toegepast landbouwmanagement op specifieke landbouwgronden en dit in rotatie met elkaar voor meerdere jaren te laten simuleren. Om dit model te gebruiken als tool om C te monitoren, zal er een aanpassing binnen het model moeten worden gemaakt, waarbij nieuwe onderdelen worden ontwikkeld om de scenario's door te rekenen die nodig zijn voor de C-balans binnen Nederland.

NDICEA

Het model NDICEA (Van der Burgt, 2006) gebruikt met enkele aanpassingen de afbraakcurve van organische stof zoals die door Jansen (1984) beschreven is. Deze berekening komt goed overeen met de benadering van effectieve organische stof. Verder wordt een vergelijkbare input gevraagd van de gebruiker als bij het opstellen van een organische stof balans. Behalve de meting van het organische stofgehalte van de grond worden er geen metingen gedaan aan de grond. Opbrengsten worden gemeten of geschat. De uitkomst is een grafiek met het verloop van de organische stof (figuur 5). De resultaten kunnen eenvoudig omgerekend worden naar netto winst of verlies van bodem koolstof en CO₂-equivalenten, maar dit vormt (nog) geen onderdeel van de modelroutine.



Figuur 5 Voorbeeld van de output van NDICEA wat betreft bodem organische stof.

Roth-C

Het adviessysteem voor koolstofopslag in de bodem dat in België is ontwikkeld, is gebaseerd op Het Roth-C model. Dit model is door Smith et al. (1997) in een eerder stadium geselecteerd en de grote uitdaging die door de universiteit van Gent (Gent, 2010) naar voren is gebracht in verband met het gebruik van simulatiemodellen is dat initialiseren van de verdeling van de organische stof in de bodem over de model pools een lastig punt is.

Conclusies over meten en inschatten van bodemkoolstof.

Voorgaande is allemaal feiten en overwegingen. Er staat hier en daar ook al een conclusie in:

- Het direct meten van koolstof in de bodem is moeilijk.
- C-totaal bepalen is lastig in de praktijk.
- BLGG gegevens kunnen als referentie dienen om een indruk te krijgen van de hoeveelheid koolstof die in de bodem aanwezig is.
- Proxy's zoals de balans kunnen gebruikt worden om de hoeveelheid koolstof te bepalen en de veranderingen door de jaren heen te monitoren, of direct een idee te krijgen van de hoeveelheid koolstof in de bodem door de kleurbepaling van de bodem te vergelijken met een standaard Munsell kleurenboek.
- Modellen: conclusie welke bruikbaar of onder welke omstandigheden bruikbaar. Zijn ze nodig om koolstof te simuleren in de bodem?

4. Literatuur

Bosch, H. and P. de Jonge, 1989. Handboek voor de akkerbouw en de groenteteelt in de vollegrond 1989. Lelystad, PAGV.

Faber, J.H., G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis, J. Bloem, J. Lahr, W.H. Diemont, L.C. Braat (2009) Maatregelen ter verbetering van biologische bodemkwaliteit. Alterra

Janik, L. J. and O. 2002. Sensitivity analysis of the Roth-C soil carbon model (ver. 26.3 Excel) / Les Janik ... [et al.]. Canberra :, Australian Greenhouse Office.

Koopmans, C.J. en H. de Vries (2006). Veldleeuwerik Duurzaamheid Doorgrond: een zoektocht naar duurzame akkerbouw. Louis Bolk Instituut, Driebergen, 37 pp.

Konen, M.E., C.L. Burras and J.A. Sandor, Organic carbon, texture, and quantitative color measurement relationships for cultivated soils in north central Iowa, Soil Sci. Soc. Am. J. 67 (2003), pp. 1823–1830.

Kortleven J. 1963. Quantitative aspects of humus build-up and humus degradation, PhD thesis, Wageningen, 109 p.

Kuikman, P.J., W.J.M. de Groot, R.F.A. Hendriks, J. Verhagen & F. de Vries, 2003. *Stocks of C in soils and emissions of CO₂ from agricultural soils in the Netherlands*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 561. 42 blz.; 3. fig.; 12 tab.; 33 ref.

Kuikman, P.J., J.J.H van den Akker & F. de Vries, 2005. Emission of N₂O and CO₂ from organic agricultural soils. Alterra, Wageningen, Alterra-rapport 1035-2. 66 blz.; 1. fig.; 6. tab.; 48 ref.

Loo, H. van het, 1997. Steekproef van de bodemeigenschappen en grondwatertrappen van de Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000 Kaarteenheden met Gt II. Rapport 483.2, DLO-Staring Centrum, Wageningen (in Dutch)

Loo, H. van het, 1998. Steekproef van de bodemeigenschappen en grondwatertrappen van de Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000 Kaarteenheden met Gt V. Rapport 483.3, DLO-Staring Centrum, Wageningen (in Dutch)

Ministerie van EL&I, brief aan de Tweede Kamer betr Beantwoording Commissievragen over het GLB, 8 maart 2011.

Scherr, Sara J. and Sajal Sthapit, 2009. Mitigating Climate Change through Food and Land Use. Worldwatch Institute Report 179, pp.

Wal, A. van der, N., van Eekeren M. Rutgers. 2008. Een verkennende literatuurstudie over het effect van bodembeheer op ecosysteemdiensten. RIVM, Bilthoven, Nederland. Briefrapport 607604010, pp. 42

RIVM, 2010. Wat natuur de mens biedt Ecosysteemdiensten in Nederland. RIVM, Bilthoven, Nederland (zie <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/500414002.pdf>)

Six, J., R. T. Conant, E. A. Paul and K. Paustian. 2002. "Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils." Plant and Soil 241(2): 155-176.

Smit, A. en P. Kuikman, 2005. Organische stof; onbemind of onbekend? Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1126. 36 blz.; 2 fig.; 2 tabl.; 49 ref.

Smith, P., J. U. Smith, D. S. Powlson, W. B. McGill, J. R. M. Arah, O. G. Chertov, K. Coleman, U. Franko, S. Frolking, D. S. Jenkinson, L. S. Jensen, R. H. Kelly, H. Klein-

Gunnewiek, A. S. Komarov, C. Li, J. A. E. Molina, T. Mueller, W. J. Parton, J. H. M. Thornley and A. P. Whitmore. 1997. "A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments." *Geoderma* 81(1-2): 153-225.

Spijker, J.H., P.A.I Ehlert, J.J. de Jong, C.M. Niemeijer, P.C. Scheepens (PRI) & E.A. de Vries, 2004. Geschiktheid van bermmaaisel als meststof; Een verslag van acht praktijkproeven. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 963. 2 blz. 1 fig.; 18 tab.; 24 ref.

TCB, 2003. Advies duurzamer bodemgebruik op ecologische grondslag. Rapport TCB A33(2003), Technische Commissie Bodembescherming, Den Haag.

Van den Pol van Dasselaar, A. en E.A. Lantinga, 1995, *Modelling the carbon cycle of grassland in the Netherlands under various management strategies and environmental conditions.* Netherlands Journal of Agricultural Science, vol 43, blz 183-194.

Visschers, R., 1997. Steekproef van de bodemeigenschappen en grondwatertrappen van de Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000 Kaarteenheden met Gt III. Rapport 483.1, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Visschers, R., 1998. Steekproef van de bodemeigenschappen en grondwatertrappen van de Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000 Kaarteenheden met Gt VI. Rapport 483.4, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Visschers, R., 1999a. Steekproef van de bodemeigenschappen en grondwatertrappen van de Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000 Kaarteenheden met Gt VII. Rapport 483.5, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Visschers, R., 1999b. Steekproef van de bodemeigenschappen en grondwatertrappen van de Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000 Kaarteenheden met Gt I. Rapport 483.6, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Visschers, R., 2000. Steekproef van de bodemeigenschappen en grondwatertrappen van de Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000 Kaarteenheden met Gt IV. Alterra-rapport 561 39 Alterra-rapport 166, Alterra – Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen.

Visschers, R., 2002. Steekproef van de bodemeigenschappen en grondwatertrappen van de Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000 Gt-associaties en Zuid Limburg. Alterra-rapport 167, Alterra – Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen.

Willems, W.J., J. Kamps, O.F. Schoumans en G.L. Velthof (2005) Milieukwaliteit en verliesnormen. Achtergrondrapport deelproject Milieu van de Evaluatie Meststoffenwet 2004. RIZA, Alterra

Internet referenties:

Emissions trading System NZ: <http://www.climatechange.govt.nz/emissions-trading-scheme/about/emission-units.html>

Link Biochar <http://www.innovatienetwerk.org/sitemanager/downloadattachment.php?id=2MH-x4Pqfv2KaLVurB62FE>

Mestwetgeving:

http://www.czav.nl/dynamisch/bibliotheek/318_0_NL_Nieuwe_mestwetgeving_2010_2013.pdf

www.hetloket.nl:

http://www.hetloket.nl/portal/page?_pageid=122,1785923&_dad=portal&_schema=PORTAL&p_document_id=289200&p_node_id=12588848&p_mode=