

Methode voor vaststelling van CO₂-vastlegging in de bodem

Type project:

CO₂-vastlegging in de bodem op minerale landbouwgronden (zand,
klei en löss)

Datum: 2 juni 2023

Kenmerk: SNK-vastlegging-bodem-001

Status: Vastgesteld

Auteurs: Carin Rougoor, CLM Onderzoek en Advies

Natalie Bakker, Louis Bolk Instituut

Jan Peter Lesschen, Wageningen Environmental Research

Monique Mul, CLM Onderzoek en Advies

*Met financiële ondersteuning van het ministerie van LNV in het kader van het
beleidsondersteunend programma Slim Landgebruik (BO-53-002)*

Inhoud

1. Definities	3
2. Projecttype beschrijving	5
3. Additionaliteit	9
4. Bepaling van de projectgrens	12
5. Vaststellen baseline	17
6. Berekening koolstofvastlegging.....	20
7. Bepaling van de emissiereductie	21
8. Monitoring parameters	22
9. Risicoanalyse en hoe daarmee om te gaan	28
Literatuur.....	29
Bijlagen	31
Appendix I – Literatuur elders gebruikte vergelijkbare methodes	31
Appendix II - Toelichting statistische analyse benodigde steekproefomvang	33
Appendix III – Beschrijving RothC Model	37

Versie	Aanleiding	Datum
001	Vaststelling door bestuur	2 juni 2023

1. Definities

In dit methodedocument worden de volgende definities gehanteerd.

Percelen

Met 'percelen' worden percelen bedoeld zoals deze zijn aangemeld door het bedrijf bij de gecombineerde opgave. De gecombineerde opgave is de jaarlijkse opgave door agrarische bedrijven die als basis dient voor o.a. de mestwetgeving. Conform het protocol voor de bemonstering van de bodem voor de fosfaattoestand¹, mag een perceel een maximale omvang hebben van vijf hectare voor één representatief mengmonster. Voor grotere percelen moeten meerdere mengmonsters genomen worden. Aan elkaar grenzende percelen mogen worden samengevoegd tot een totale omvang van ten hoogste vijf hectare.

Minerale gronden

Minerale gronden zijn bodems met maximaal 20% organische stof en zonder veenlaag binnen 80 cm diepte. Minerale gronden omvatten dus de zand-, klei- en lössbodems.

Organische stof in de bodem

Organische stof (OS) in de bodem bestaat uit organisch materiaal van plantenresten en resten van bodemfauna. Organische stof heeft vele belangrijke functies in de bodem en heeft belangrijke invloed op de bodemvruchtbaarheid. Het verbetert de structuur, bevordert de bewerkbaarheid en verhoogt het vochtvasthoudend vermogen van de grond. Organische stof bestaat voor ongeveer de helft uit koolstof (C), maar de variatie is groot en ligt tussen de 30% en 70%.

Organische stof wordt als term vaak in de praktijk gebruikt, terwijl voor klimaatmitigatie gesproken wordt over veranderingen van de hoeveelheid bodem organische koolstofvoorraad. In dit document worden beide termen gebruikt. Voor metingen heeft een meting van het organisch C-gehalte de voorkeur, maar als deze niet beschikbaar is kan ook het OS-gehalte gebruikt worden.

Bedrijf

Agrarisch bedrijf waarbij het bedrijfsareaal wordt bepaald door alle percelen in projectjaar nul. De deelnemer kan hiervoor data uit de gecombineerde opgave (BRP) gebruiken, maar kan hier ook van afwijken als hij/zij duidelijk kan maken dat gebruiker van een perceel afwijkt van de gegevens in de BRP.

Project

Groep van bedrijven die gezamenlijk een projectplan indienen en na goedkeuring door SNK dit uitvoeren volgens de beschreven systematiek.

Projectjaar 0

Jaar voorafgaande aan de start van het project.

¹ <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2021/07/Protocol%20Fosfaatdifferentiatie%20en%20Derogatie.pdf>

RothC-model

Het RothC- model is een wereldwijd toegepast en wetenschappelijk onderbouwd model dat de dynamiek van organische koolstof in de bodem simuleert. Dit model is online beschikbaar op het FarmMaps platform (<https://farmmaps.eu/>). In FarmMaps wordt het model BodemC genoemd.

2. Projecttype beschrijving

2.1. Aanleiding

Als reactie op de overeengekomen doelen van het Parijs Akkoord heeft de Nederlandse regering een nationale klimaatdoelstelling geformuleerd van 49% minder CO₂-uitstoot (inclusief andere broeikasgassen) in 2030 ten opzichte van 1990. Deze doelstelling vraagt ook een bijdrage van de landbouwsector, aangezien deze sector voor ongeveer 10% bijdraagt aan de totale broeikasgasuitstoot in Nederland (Ruysenaars et al., 2020). In het Klimaatakkoord is voor landbouw en landgebruik een emissiereductiedoelstelling van 3,5-6,0 Mton CO₂ afgesproken. Ook koolstofvastlegging in landbouwbodems moet bij gaan dragen met een doelstelling van 0,4-0,6 Mton CO₂ per jaar in 2030.

In het Klimaatakkoord is aangegeven dat deze CO₂-vastlegging moet worden bereikt via 'pilots, kennisverspreiding, technische innovatie en opleiding adviseurs'. Het wordt onwaarschijnlijk geacht dat grondgebruikers zonder extra prikkel deze maatregelen vrijwillig nemen. De uitgifte van koolstofcertificaten kan deze extra prikkel zijn. Voorliggend methodedocument is gericht op koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems. Een methodedocument gericht op koolstofvastlegging in minerale landbouwbodems onder blijvend grasland is reeds vastgesteld door de Stichting Nationale Koolstofmarkt. De methodiek die in dit document wordt beschreven richt zich op alle minerale landbouwgronden. In principe kan de methodiek zowel op akkerbouwmatige teelten als ook op snijmais en grasland worden toegepast. Op deze wijze kunnen alle percelen van een (gemengd) bedrijf meedoen binnen een project. Maatregelen die bijdragen aan koolstofopbouw in minerale bodems en die in dit methodedocument worden meegenomen zijn (1) gewaskeuze (meer rustgewassen, zoals granen, grasland), (2) bovenwettelijke teelt van vanggewassen, (3) aanvoer OS via organische meststoffen (o.a. dierlijke mest en compost) en (4) inwerken gewasresten.

Een Nederlands landbouwperceel op zand of klei bevat per hectare gemiddeld 50-100 ton C (ofwel 200 – 400 ton CO₂) in de bovenste 30 cm. Naast de bijdrage aan minder broeikasgassen kan goed bodem- (organische stof-)beheer de fysische, chemische en biologische eigenschappen van een bodem verbeteren. Hierdoor kan erosie verminderen, plaagcontrole worden ondersteund en negatieve effecten van extreem weer worden afgezwakt (o.a. omdat het watervasthoudend vermogen van een bodem kan verbeteren). Op lange termijn draagt een bodem met voldoende organische stof bij aan de productiecapaciteit en weerbaarheid van de bodem. Daarmee is het vastleggen van koolstof in de bodem ook in het belang van de grondeigenaar/gebruiker.

Dit methodedocument kwantificeert de CO₂-vastlegging van duurzaam bodembeheer die de bodemkoolstofvoorraden van landbouwgebieden vergroten. Het is gericht op minerale bodems (klei, zand en löss) en maakt gebruik van een analytisch, wetenschappelijk beoordeeld model om de veranderingen in de organische bodemkoolstofvoorraad te berekenen.

Er is een brede reeks van maatregelen die een positief effect kan hebben op de voorraad bodemkoolstof. Deze methode richt zich op het vastleggen van CO₂ in landbouwbodems door middel van maatregelen op percelen. De verwachting is dat de maatregelen aansprekend zijn voor zowel agrariërs als potentiële certificaat-afnemers.

Bij het opstellen van het methodedocument is gebruik gemaakt van de ervaringen die in het buitenland met dergelijke systemen zijn opgedaan en de ervaring die is opgedaan bij het opzetten van het Stichting Nationale Koolstofmarkt (SNK) methodedocument voor blijvend grasland. Bij het inschatten van de betekenis van deze buitenlandse projecten voor de Nederlandse situatie, dient rekening te worden gehouden met vaak grote verschillen tussen de Nederlandse situatie en die in het buitenland (bijvoorbeeld bedrijfsgrootte). In sommige gevallen is er sprake van intensieve monitoringsystemen, die in de Nederlandse situatie vanwege de veel kleinere gemiddelde bedrijfsomvang onbetaalbaar zouden zijn. Kosten voor monitoring en certificering (interne systeemkosten) kunnen in deze projecten wel tot circa 30% uitmaken van de waarde van de certificaten. Bij het maken van de methode is daarom gepoogd om deze systeemkosten beperkt te houden en daarom geen intensieve monitoring op basis van bodem OS monsters op te zetten.

2.2. Projectbeschrijving

In dit projecttype wordt CO₂ vastgelegd door middel van duurzaam bodembeheer op agrarische percelen. Mogelijke maatregelen zijn (1) gewaskeuze (meer rustgewassen, zoals granen, grasland), (2) bovenwettelijke teelt van vanggewassen, (3) aanvoer OS via organische meststoffen (o.a. dierlijke mest en compost) en (4) inwerken van gewasresten. Agrarische bedrijven kunnen deelnemen met (een deel van) hun percelen. Wil een project met agrarische bedrijven in aanmerking komen voor SNK-certificaten, dan moet daarvoor een projectplan worden opgesteld.

Dit projectplan moet onder meer beschrijven:

- De percelen die onder het project vallen en het oppervlak per perceel.
- De voorgenomen maatregelen.

Dit methodedocument beschrijft de wijze waarop waardering en beoordeling plaatsvindt van de vastgelegde koolstof gedurende een minimum periode van 10 jaar. Als partijen na de projectperiode door willen gaan, zal een nieuw project moeten worden gestart voor een nieuwe periode waarin opnieuw wordt bepaald wat de baseline is.

Bij aanvang van het project zijn alle maatregelen bekend waarmee bodem-C binnen het project wordt vastgelegd.

Uitkering van certificaten aan de projecthouder vindt plaats op basis van een modelberekening met het RothC-model, waarbij de te nemen maatregelen voor bodem-C-vastlegging dienen als input voor het model. Het RothC-model is een wereldwijd toegepast en wetenschappelijk onderbouwd model dat de dynamiek van bodem-C simuleert. Daarnaast dient te worden voldaan aan een aantal voorwaarden, waaronder een controle dat daadwerkelijke C-vastlegging heeft plaatsgevonden door middel van gemeten waarden op basis van monsternamen en analyse. De projecthouder keert de certificaten per jaar uit aan de deelnemers volgens de onderstaande formule:

Formule 2.2 50% van de certificaten/ totale projectduur= aantal certificaten per jaar

Aanpassingen van de maatregelen gedurende de projectperiode is geoorloofd, mits kan worden aangetoond door berekeningen met het RothC-model, dat hiermee ook de vastgestelde toename van bodem-C gerealiseerd wordt. Zijn er gedurende de looptijd van het traject door een deelnemer wijzigingen in de maatregelen aan gebracht en blijkt uit berekeningen met het RothC-model dat daardoor de vastgestelde toename van bodem-C niet gerealiseerd kan worden, dan ontvangt deze

deelnemer jaarlijks geen certificaten meer. Aan het eind van het project krijgt deze deelnemer de certificaten die behoren bij de bodem-C vastlegging van de gewijzigde maatregelen.

2.3. Methode op hoofdlijnen

Deze methode betreft het vastleggen van CO₂ door middel van duurzaam bodembeheer van minerale landbouwbodems (zand, klei en löss). Een aantal bedrijven start een project op door gezamenlijk af te spreken dat zij gedurende tenminste tien jaar maatregelen toepassen op minimaal 75% van hun areaal op bedrijfsniveau (percentage op t=0). De deelnemende percelen worden geregistreerd. Voor de vastgelegde CO₂ komen verkoopbare SNK-certificaten beschikbaar.

In dit document werken we met een standaard projectperiode van 10 jaar. Een langere projectperiode kan ook afgesproken worden. Dan is het niet verplicht in jaar 10 certificaten te verifiëren, maar dit is vanaf dat moment wel mogelijk (zodat in dat jaar geverifieerde certificaten beschikbaar komen). In het laatste projectjaar worden dan de resterende projectcertificaten geverifieerd. Bij verificatie wordt altijd de werkwijze gevolgd zoals wordt beschreven voor jaar 10.

De hoeveelheid vastgelegde CO₂ wordt berekend op basis van het RothC-model. Dit model is online beschikbaar op het FarmMaps platform (<https://farmmaps.eu/>).

De binnen het project in potentie vast te leggen hoeveelheid CO₂ wordt met het model berekend. Het is de som van de vast te leggen hoeveelheid CO₂ van alle deelnemende percelen en deelnemende bedrijven. Met het model wordt eerst de situatie doorgerekend als het bedrijf de komende 10 jaar geen extra maatregelen zou nemen (de baseline). Het verschil in berekende bodem-C balans in jaar 10 tussen deze baseline en het resultaat met maatregelen is het projectdoel en vormt de basis voor de hoeveelheid certificaten. Certificaten komen beschikbaar op basis van de, met het model berekende, vastgelegde hoeveelheid CO₂ binnen het project. Binnen het project zullen afspraken gemaakt moeten worden over de verdeling van certificaten over de deelnemers. Dit vormt geen onderdeel van de systematiek en wordt dus niet door SNK beslist. De projecthouder van het project ontvangt de certificaten na validatie van het project. De projecthouder verhandelt per jaar maximaal het aantal certificaten zoals bepaald wordt met de formule 2.2 en keert die uit aan de deelnemers. De overige certificaten worden door de projecthouder pas uitgekeerd na verificatie van de certificaten.

De hoeveelheid in de bodem aanwezige C wordt gemeten bij aanvang van het project en na 10 jaar (eindsituatie). De waarde in de nulsituatie van alle deelnemers in het project wordt gebruikt als input voor de modelberekening. Vergelijking van de na 10 jaar gemeten hoeveelheid met de berekende baseline, levert de gemeten hoeveelheid totaal vastgelegde CO₂ op projectniveau. Omdat de in bodem vast te leggen hoeveelheid C gering is ten opzichte van de reeds aanwezige C, is het meten van de in de projectperiode vastgelegde hoeveelheid C onnauwkeurig. Daarnaast is er sprake van onzekerheid of de maatregelen daadwerkelijk in iedere situatie zullen leiden tot de geschatte C-vastlegging. Daarom wordt het beschikbaar komen van certificaten gebaseerd op de modelberekening. Desalniettemin is het belangrijk en verplicht om daadwerkelijk te meten op de deelnemende percelen. Daarbij wordt een ruime marge toegestaan tussen berekende en gemeten hoeveelheden, zodat het risico dat de C-vastlegging lager is dan verwacht, niet geheel op de boeren wordt afgewenteld. Een maximale afwijking van 50% op het doelresultaat (conform methodedocument blijven grasland) op projectniveau neemt deze potentiële onnauwkeurigheid redelijkerwijs in acht, en wordt hiermee ingeschat als een reële voorwaarde om te hanteren.

2.4. Uitgifte van certificaten

Verificatie vindt plaats aan het eind van de projectperiode, dus na minimaal 10 jaar op basis van berekeningen en metingen. De projecthouder ontvangt van SNK na validatie van het projectplan de berekende certificaten (met de status 'gevalideerd'). De projecthouder geeft in een 10 jaar lopend project jaarlijks maximaal 5% van de gevalideerde certificaten uit. De resterende certificaten worden aan het eind van de projectperiode na verificatie als geverifieerde certificaten uitgegeven, mits aan de eisen is voldaan. Indien bij het verificatieproces niet is voldaan aan de berekende hoeveelheid bodem C vastlegging met een marge van 50% (zie boven), dan ontvangt de projecthouder minder geverifieerde certificaten dan verwacht en kunnen er minder certificaten worden uitgegeven.

Blijkt dat na verificatie in jaar 10 dat wel aan de eisen (alle maatregelen) is voldaan, maar minder dan 50% van het doel is gerealiseerd, dan vervalt de resterende uitkering van 50%, maar wordt de eerste 50% als geverifieerd benoemd.

2.5. Toelichting onnauwkeurigheid bodemmetingen organische stof

Een gemiddelde akkerbouwperceel met een OS-gehalte van 3% en een dichtheid van $1,3 \text{ kg/dm}^3$ bevat 52,7 ton C per ha in de bovenste 25 cm. Door verruiming van de rotatie en telen van groenbemesters kan per jaar circa 2 ton CO_2/ha worden vastgelegd. Dit betekent over bijvoorbeeld 10 jaar een vastlegging van 5,5 ton C/ha. Na 10 jaar is de totale C voorraad dus 58,2 ton C/ha. Dit komt overeen met een OS-gehalte van 3,31% OS, een toename van 10%. De onnauwkeurigheidsmarge van de laboratoriumanalyses van het OS-gehalte ligt afhankelijk van het laboratorium tussen de 5-10%. De verwachte toename in OS-gehalte ligt dus in dezelfde range als de onnauwkeurigheidsmarge van de metingen

3. Additionaliteit

Voor alle SNK-projecten geldt dat deze moeten voldoen aan de eis van additionaliteit. Projecten moeten hierbij aantonen dat de koolstofvastlegging in landbouwgronden additioneel is op bestaand beleid, en dat deze koolstofvastlegging tot stand komt door een verandering t.o.v. huidige managementpraktijken. Hierbij geldt het invoeren van nieuwe maatregelen, het stopzetten van huidige praktijken die koolstofvastlegging belemmeren, het optimaliseren van de bedrijfsvoering, of een combinatie hiervan.

Kader 1. Additionaliteitseis

Een project wordt door Stichting Nationale Koolstofmarkt (SNK) beoordeeld op additionaliteit ten opzicht van a) gangbare maatregelen ('common practice') en ten opzichte van vigerend beleid. Additionaliteit wordt bepaald ten opzichte van het landelijke niveau. De emissiereductie van een project wordt bepaald door de emissies te berekenen die er zouden zijn geweest als er geen project zou zijn, dat is de baseline. In dit methodedocument wordt de baseline bepaald door praktijk van een individueel bedrijf in de afgelopen 3 tot 5 jaar. Het bepalen van additionaliteit wordt per bedrijf uitgevoerd omdat 'common practice' sterk verschilt per regio en per bedrijf. In de praktijk zien we grote verschillen tussen regio's; voorbeelden hiervan zijn typische graan regio's, koolteeltgebieden of gebieden waar de teelt van pootaardappelen makkelijker gaat. Echter alle akkerbouwbedrijven hebben hun eigen rotatieschema's. Rotatieschema's kunnen bestaan uit verschillende teelten. Waar de ene akkerbouwer in een regio wintertarwe teelt, heeft de ander in verband met begaanbaarheid van zijn percelen voorkeur voor zomergerst. Op het ene bedrijf is het mogelijk om rendabel knolselderij te telen, terwijl op het buurbedrijf door de nabijheid van bossen en de daar voorkomende plagen dat niet mogelijk is. Door deze grote verschillen tussen regio's (o.a. afhankelijk van grondsoort) en tussen bedrijven (veel verschillende teelten etc.) is het niet mogelijk eenduidig een 'common practice' vast te stellen anders dan op basis van de bedrijfsvoering op dat betreffende bedrijf. Om die reden wordt de baseline bepaald op basis van de 'common practice' van een individueel bedrijf in de afgelopen 3-5 jaar.

De volgende categorieën van maatregelen zijn van toepassing:

1. Gewaskeuze (meer rustgewassen, zoals granen, in de rotatie);
2. Bovenwettelijke teelt van vanggewassen of groenbemesters;
3. Aanvoer OS via organische meststoffen (bijv. dierlijke mest of compost die voldoet aan de VVAK norm);
4. Inwerken gewasresten;

Zie De Ponti et al. (2021) voor informatie over de koolstofvastlegging die met deze maatregelen op verschillende grondsoorten kan worden bereikt.

Voor agroforestry of grondwaterpeil verhoging in veenweides zijn de methodedocumenten 'SNK-nieuwbos-001', en 'SNK-Groen-Veenweide-005' respectievelijk van toepassing.

3.1. Wetgeving en vigerend beleid t.a.v. koolstofvastlegging

Er is op dit moment nog geen nationaal of Europees beleid dat agrarische bedrijven verplicht tot koolstofvastlegging in landbouwbodems; er is vanuit het Klimaatakkoord wel een streven om koolstofvastlegging te stimuleren om daarmee bij te dragen aan de reductiedoelstelling.

Vanuit Europa geldt voor de lidstaten vanaf 2021 een netto stabilisatiedoel ('no debit rule') voor de landgebruik sector (LULUCF). Momenteel is er echter nog geen nationaal beleid uitgewerkt waarbij vastlegging van bodemkoolstof gestimuleerd dan wel verplicht opgelegd wordt aan boeren. Ook zijn er nog geen subsidieregelingen m.b.t. koolstofvastlegging in de landbouw. Participanten dienen wél ten alle tijden te voldoen aan de regionale mestwetgeving

3.2. Beleid t.a.v. vanggewassen en groenbemesters

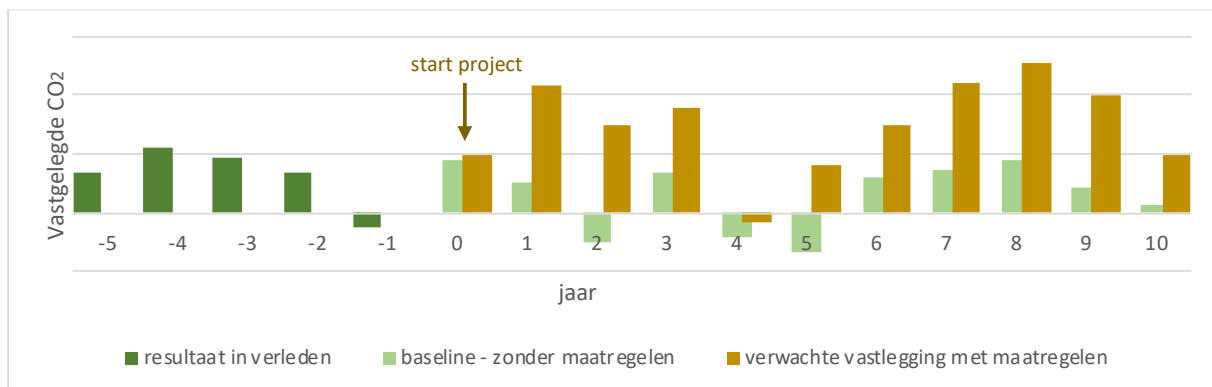
Op dit moment is er wel regelgeving van toepassing op vanggewassen en groenbemesters in bepaalde situaties.). Binnen het 7^e NitraatActieProgramma is het verplicht om op 100% van het areaal zand en löss vanggewassen of wintergewassen toe te passen. Het telen van vanggewassen onder deze verplichtingen voldoet hiermee niet aan de additionaliteitseis van SNK en kunnen vanaf het moment dat het wetgeving is daarom niet worden meegenomen in een nieuw project op zand- en lössgronden. Deze maatregelen vormen vanaf dat moment, in een nieuw project, onderdeel van de baseline.

3.3. Huidige situatie bodemkoolstof

Recente analyses (Van Tol et al., 2019) laten zien dat tussen circa 1998 en 2018 voor het deel van Nederland dat op de bodemkaart als minerale grond is gekarteerd, gemiddeld geen significante verandering in het gehalte aan organische stof kon worden aangetoond. Als de agrarische sector extra vastlegging van koolstof in de bodem wil bewerkstelligen, dan betekent dit dat ze een andere werkwijze zullen moeten volgen dan de reguliere praktijk.

3.4. Aantonen van additionaliteit t.o.v. huidige situatie

Wanneer er kan worden aangetoond dat veranderingen van huidige managementpraktijken niet deel zijn van wetgeving of vigerend beleid, is het zaak om te bepalen in hoeverre de inspanningen bijdragen aan additionele koolstofvastlegging ten opzichte van de huidige praktijk. Hiertoe wordt gebruik gemaakt van historische data. Op basis van bedrijfsgegevens van de afgelopen 3 tot 5 jaar moet worden berekend hoeveel bodemkoolstof er jaarlijks wordt vastgelegd (voor verdere uitleg van deze berekening zie sectie 5 'vaststellen baseline'). Tevens moet er worden berekend hoeveel bodemkoolstof zou worden vastgelegd wanneer de voorgestelde maatregelen worden doorgevoerd. Het verschil tussen de twee koolstofvastleggingstrends, (voor en na implementatie van maatregelen) wordt gezien als additionele koolstofvastlegging. Op basis van dit verschil worden de certificaten uitgegeven. Onderstaand een illustratie, bewerkt van Nori (2021), waarbij de koolstofcertificaten worden berekend door het verschil tussen de gele en groene trends:



Figuur 1: Schematische weergave van het vaststellen van de baseline en additionaliteit (verwachte vastlegging na het nemen van maatregelen).

De methodiek betreffende het bepalen van additionaliteit op basis van historische data is onder meer aanbevolen door de EU in hun technisch handboek voor het opzetten en implementeren van resultaatgerichte carbon farming mechanismen in de EU (European Commission, 2021).

4. Bepaling van de projectgrens

4.1. Ruimtelijke begrenzing

De fysieke grenzen waarbinnen de koolstofvastlegging wordt bepaald zijn alle percelen die meedoen in het project waarop een maatregel plaatsvindt en het bodemtraject waarin de meeste bodemkoolstof voorkomt in de bodem: de bovenste 25 cm vanaf maaiveld. Vanuit SNK wordt geen eis gesteld aan het aantal percelen dat deelneemt.

Er is geen minimeis gesteld aan een projectgebied of aantal deel te nemen percelen. Echter, door een groter areaal in het project op te nemen, wordt de statistische kans verhoogd dat daadwerkelijk op projectniveau een toename in organische stof kan worden bepaald. Het risico is aanwezig dat een daadwerkelijke toename in organische stof in jaar 10 niet door bodemmetingen wordt aangetoond. Een statistische berekening laat zien dat het aantal mengmonsters (elk bestaande uit 40 deelmonsters) dat nodig is om dit risico tot 5% te beperken sterk afhangt van de verwachte variantie tussen percelen en de verwachte toename in bodemkoolstof. Appendix II geeft de link tussen deze variantie tussen percelen, de verwachte toename en het aantal monsters en de bijbehorende kans om binnen bepaalde marges te blijven. Als de variantie tussen percelen klein is (0,3), en in 10 jaar tijd een grote absolute toename van het OS% wordt gerealiseerd (van 0,3%) voldoet een steekproefomvang van 36 mengmonsters binnen het totale project. Als de variatie tussen percelen echter extreem groot is (0,7), en het OS% neemt slechts 0,1% toe, dan zijn meer dan 700 mengmonsters nodig om 95% zekerheid te hebben dat dit wordt aangetoond door bodemmetingen. Zie Appendix II. Hoeveel monsters wenselijk zijn binnen een project hangt dus van de variantie tussen percelen en de te verwachten toename in OS%. Binnen de methodiek worden hier geen eisen aan gesteld.

De nauwkeurigheid kan worden vergroot door meer mengmonsters te nemen dan 1 mengmonster per 5 hectare. Dit voordeel zal moeten worden afgewogen tegen de extra kosten.

We onderscheiden drie ruimtelijke niveaus:

1. Perceelsniveau: voor het project aangemeld perceel.
2. Bedrijfsniveau: alle percelen van een deelnemend bedrijf (inclusief percelen die niet zijn aangemeld voor het project).
3. Projectniveau: alle aangemelde percelen van deelnemende bedrijven.

Het projectgebied omvat de percelen die door de bedrijven zijn aangemeld voor het project.

De deelnemer aan het project moet aantonen (door middel van een eigendomsbewijs, pachtcontract etc.) controle te hebben over het deelnemende bedrijf en kan aannemelijk maken dat die controle behouden wordt gedurende de projectduur.

Voor verificatie dient aan het eind van het project te zijn voldaan aan de volgende eisen:

1. Minimaal 75% van het areaal van een bedrijf op $t=0$ moet meedoen in het project (daarmee wordt afwenteling door lagere C-gehalten op andere percelen voorkomen). Door niet als eis

op te nemen dat het volledige bedrijfsareaal meedoet in het project, blijft kortlopende pacht of uitruil van gronden mogelijk op een deel van het bedrijf. Echter, een bedrijf dat werkt met grotendeels wisselende percelen, kan niet meedoen, omdat er voor deze percelen geen garanties zijn dat koolstof wordt vastgelegd.

2. De gemeten hoeveelheid vastgelegde CO₂ binnen het gehele project bedraagt minimaal 50% van de berekende hoeveelheid voor alle percelen gezamenlijk. Indien de gemeten hoeveelheid minder dan 50% bedraagt ten opzichte van de berekende hoeveelheid in de eindsituatie, geldt de verificatie alleen voor de jaarlijks uitgegeven certificaten (10 x 5%; zie hieronder en onder 'Monitoring parameters'). Door niet op perceelsniveau maar op projectniveau te beoordelen of minimaal 50% wordt gerealiseerd, wordt de invloed van een meetfout geminimaliseerd (meetfouten worden uitgemiddeld). De verdeling van de certificaten tussen de bedrijven is niet geregeld binnen dit methodedocument. Dit wordt binnen het project bepaald.

Dit methodedocument schrijft voor dat 50% van de certificaten met een verdeling van 5% per jaar gedurende 10 jaar, aan het project beschikbaar worden gesteld. De andere 50% komen pas na verificatie aan het eind van het project beschikbaar. Als uit metingen blijkt dat minder dan 50% van de berekende hoeveelheid bodemkoolstof is vastgelegd, dan wordt deze tweede 50% niet uitgekeerd.

Mocht blijken dat voor bepaalde percelen niet altijd aan de voorwaarden is voldaan, dan worden deze percelen buiten beschouwing gelaten. Deze percelen komen ook niet in aanmerking voor uitkering van de resterende 50% na 10 jaar.

4.2. Projectperiode

De projectperiode bedraagt minimaal 10 jaar. De CO₂-vastlegging tijdens het gehele project moet in jaar 0 worden berekend met een model (zie Hoofdstuk 5-7) op basis van de gemeten bodem C/OS-gehalten tijdens de nulsituatie. Hiervoor moeten de volgende berekeningen worden uitgevoerd:

- Baseline berekening. Hierbij wordt de situatie voor bodem-C-vastlegging op het bedrijf in de 3 tot 5 jaar (afhankelijk van de rotatie) voor aanvang van het project doorgerekend voor de komende 10 jaar. Als door recente wetswijzigingen die in jaar 0 (aanvang van het project) van kracht zijn, de bedrijfsvoering in voorgaande jaren niet meer zou zijn toegestaan, wordt de baseline hierop aangepast. Op deze wijze wordt gegarandeerd dat de baseline voldoet aan de wetgeving.
- Berekening van bodem-C-vastlegging na toepassing van maatregelen met het model voor jaar 1 t/m 10.
- Het verschil tussen de baseline en berekende bodem-C-vastlegging vormt de basis voor de gecertificeerde C-vastlegging.

Verificatie van de berekening vindt plaats op basis van een meting in 10 jaar. Daarbij wordt de intentie contractueel vastgelegd voor het continueren / verlengen van de maatregelen na afloop van de projectduur.

4.3. Startdatum

De startdatum van het project is het moment waarop de projectinterventie start. Door mee te doen aan het project, verplicht het bedrijf zich tot het nemen van maatregelen zoals in het jaar 0 / voor aanvang van het project is afgesproken.

4.4. Deelnemende bedrijven

Deelnemers zijn agrarische bedrijven die zich contractueel verplichten tot het toepassen van maatregelen gericht op duurzaam bodembeheer gedurende ten minste 10 jaar vanaf de startdatum en bij voorkeur op het gehele bedrijf maar ten minste op 75% van het bedrijfsareaal zoals bepaald het jaar voor aanvang van het project. Binnen een lopend project is uitbreiding met meer percelen en/of bedrijven niet mogelijk, omdat afspraken zijn gemaakt voor een vaste periode van jaar 1 t/m 10. Voor nieuwe deelnemers en/of nieuwe percelen kan een nieuw project worden opgestart, waaraan ook zij minimaal tien jaar zullen deelnemen. Er kan altijd een nieuw project starten, waarbij voor dat project wordt berekend hoeveel bodem-C in 10 jaar wordt vastgelegd. Dit heeft geen invloed op de eindtijd van de andere al lopende projecten.

4.5. Sources en sinks

Voor alle sources/ sinks geldt dat het niet verplicht berekend hoeft te worden als aangetoond is dat het niet meetellen van deze emissiebronnen bijdraagt aan een conservatieve inschatting van de impact van broeikasgassen van het project. Ook kunnen sources / sinks optioneel buiten beschouwing worden gelaten wanneer de impact niet significant is, dat wil zeggen dat het gezamenlijke aandeel van deze sources/ sinks minder dan 5% van de totale extra CO₂ vastlegging van het project bedraagt.

Conservatieve benadering overige sources

Uit tabel 1 blijkt dat door de bodemmaatregelen deels een afname van lachgasemissie is te verwachten, maar dat door transport een toename van CO₂-emissie is te verwachten. Door de afname van de lachgasemissie niet mee te tellen en daarnaast beperkingen te stellen aan de transportafstanden, zal de berekende CO₂-vastlegging een conservatieve benadering zijn.

Tabel 1: Overzicht sources

Broeikas gas	Emissiebron (Source)	Correctie noodzakelijk?	Toelichting
CO ₂	Dieselvebruik op bedrijf	Nee	Rooigewassen (aardappelen, bieten) vragen veel bewerkingen (incl rooien). Door meer rustgewassen te verbouwen, wordt het aantal bewerkingen, en daarmee het dieselgebruik verminderd. Dit heeft vermindering van de CO ₂ -emissie tot gevolg.
CO ₂	Dieselvebruik bij transport aanvoer	Nee	Toepassing van dierlijke mest en/of compost vergt extra transport (aanvoer compost), en daarmee dieselgebruik. Dit geldt ook voor de aanwending. Dit wordt beperkt door een maximum te stellen aan de toegestane transportafstand van mest (maximaal 50 km), champost (90 km) en compost en champost (max 140 km), zie toelichting hieronder.
N ₂ O	Emissie bodemprocessen	Nee	N ₂ O-emissies vinden plaats bij de omzetting van stikstof in de bodem. Veel van de maatregelen voor bodem C vastlegging leiden tot minder intensieve

Broeikas gas	Emissiebron (Source)	Correctie noodzakelijk?	Toelichting
			teelten, waardoor de stikstofbemesting kan worden verlaagd en de stikstofverliezen lager zijn. Groenbemesters/vanggewassen kunnen ook een positief effect hebben op N uitspoeling in het winterseizoen, en daarmee op de indirecte N₂O bodememissies. Deze stikstof komt vervolgens in het groeiseizoen beschikbaar voor de plant, waardoor uitspoeling voorkomen wordt. Wordt een vanggewas of groenbemester ondergewerkt dan komt de opgenomen stikstof weer vrij. Dit kan, bij met stikstof bemeste groenbemesters leiden tot meer lachgasemissie. Door regels te stellen aan de bemesting, wordt dit risico beperkt. Deze regels zijn (1) geen bemesting van vanggewassen en vlinderbloemige groenbemesters, en (2) groenbemesters na granen, graszaad en koolzaad mogen wel worden bemest, naar dan geldt in het voorjaar een korting op de N-gift volgens tabel 2.12 in het Handboek Bodem en Bemesting² na het onderwerken van een groenbemester in de herfst of het voorjaar. Ook gebruik van vaste mest en compost zal in praktijk veelal een lagere N₂O emissie hebben in vergelijking met kunstmest of drijfmest. De relatie tussen bemesting en uiteindelijke emissies is complex. Maar ook al is in sommige gevallen een toename mogelijk van de N₂O emissie, over het algemeen is een afname te verwachten.

Toelichting op broeikasgasemissies door fossiele brandstoffen en bemesting

Door aanpassingen in de bedrijfsvoering en/of door het toepassen van organische bemesting kunnen emissies uit het verbranden van fossiele brandstoffen (CO₂, N₂O) wijzigen. In onderstaande tabel 2 is een schatting gemaakt bij welke transportafstand de broeikasgasemissies als gevolg van transport circa 5% bedragen van de aanvoer van EOS (Effectief Organische Stof). De EOS wordt berekend door het OS-gehalte te vermenigvuldigen met het percentage van de organische stof dat een jaar na toediening nog niet is afgebroken (de humificatiecoëfficiënt). Om dit te kunnen vergelijken met transportkilometers is als uitgangspunt genomen dat de emissie 105 g CO₂-eq per tonkilometer bedraagt voor een vrachtwagen van 20 ton of meer (CO₂ emissiefactoren, 2021). 105 g CO₂ komt overeen met (12/44 * 105 =) 28,6 gram C. Vijf procent van het EOS in een ton vaste rundveemest is 5%

²

<https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/handeling/bemesting/stikstof/n-korting-na-onderwerken-van-groenbemesters-en-oogstresten/groenbemesters.htm>

van 34,88 kg C, oftewel 1.740 gram C. Deze hoeveelheid C emitteert bij een transport over 1.740/28,6 = 61 km. Deze waarde staat weergegeven in de tabel.

Tabel 2. Schatting van de omvang van transportemissies van mest en compost in verhouding tot EOS-gehalte van de producten.

Mest/compost	DS-gehalte (g/kg)	C-gehalte (kg/ton)	humificatie-coëfficiënt*	gehalte EOS-C/ton	transport-km 5% emissie
Runderdrijfmest	92	36	0,45	15,98	28
Vleesvarkensdrijfmest	107	40	0,33	13,04	23
Vaste rundvee mest	267	78	0,45	34,88	61
Vaste varkens mest	260	77	0,33	25,25	44
Dikke fractie rundvee mest	250	97	0,45	43,43	76
Dikke fractie varkens mest	250	93	0,33	30,53	53
Champost	336	106	0,50	52,75	92
GFT-compost	696	121	0,90	108,90	190
Groen compost	599	90	0,90	80,55	141

* Bron: CDM-advies, 2017.

Op basis van deze tabel kan gesteld worden dat voor vaste mest en dikke fractie maximaal 50 km transport de emissies tot <5% zal beperken, voor champost kan een grens worden gesteld bij 90 km en voor compost 140 km. In de baseline zal veelal gebruik worden gemaakt van drijfmest. Uit de tabel blijkt dat bij een transportafstand van respectievelijk 23 en 28 km de transportemissies al 5% bedragen van de EOS in de mest. Als in het verleden drijfmest van ver is aangevoerd, betekent dit dus relatief veel extra emissies die we niet terugzien in de baseline. De baseline geeft dan dus een overschatting van de CO₂-vastlegging. Dit maakt dat de extra vastlegging door het project een onderschatting zal zijn. Correctie voor transport in het verleden is dus niet noodzakelijk.

Bij het onderwerken van een vanggewas of groenbemester komt de opgenomen stikstof weer vrij. Dit kan, bij met stikstof bemeste groenbemesters leiden tot meer lachgasemissie. Om die reden stellen we als eis dat bij de teelt van groenbemesters geen gebruik mag worden gemaakt van de extra bemestingsruimte die de wet hiervoor biedt.

5. Vaststellen baseline

De baseline van een project is de voortzetting van de gangbare praktijk waarbij geen extra maatregelen worden genomen om koolstof vast te leggen in de bodem van het bedrijf. Het vaststellen van de baseline is nodig om additionaliteit te waarborgen. De baseline van bodemkoolstof op bedrijfsniveau moet worden bepaald door middel van een combinatie van veldmetingen en robuuste, wetenschappelijk onderbouwde, modelberekeningen.

Vastlegging van CO₂ in bodem-OS is via modelberekeningen in grote lijnen te voorspellen. Wetenschappelijke modellen zoals RothC, Century en Candy zijn gebaseerd op lange-termijn meetreeksen, waarin landbouwactiviteiten en klimaatgegevens zijn gekoppeld aan gemeten bodem koolstofgehaltes. Met deze modellen kan relatief nauwkeurig voorspeld worden hoeveel C wordt vastgelegd, mits de maatregelen die de boer heeft genomen geregistreerd zijn (bijvoorbeeld keuze van de gewassen, gebruik groenbemesters, aanvoer van organisch materiaal zoals mest of compost, etc.).

Voor de berekening van koolstofvastlegging voor de Nationale Koolstofmarkt moet een perceel-specifieke modelberekening worden toegepast. Hiervoor dient men gebruik te maken van het RothC-model. Vanwege de volgende redenen is de keuze gemaakt om het RothC-model toe te passen:

- Het model wordt wereldwijd toegepast en is goed beschreven in wetenschappelijke publicaties (o.a. Coleman et al., 1997; Smith et al., 1997; Byrne and Kiely, 2009).
- Het model is relatief simpel en vereist een beperkte set aan invoerdata.
- Er is ervaring met het toepassen van het model in Nederland, zoals beschreven in Lesschen et al. (2021) voor toepassing op nationale schaal en Lesschen et al. (2020) voor toepassing op bedrijfsniveau voor de melkveehouderij. Binnen projecten is ook ervaring opgedaan met het model in de akkerbouw. Daarnaast wordt het binnen het Slim Landgebruik programma gebruikt voor doorrekeningen voor akkerbouwbedrijven.
- Het is de bedoeling om dit model ook te gebruiken voor de nationale emissieregistratie voor het berekenen van C vastlegging in landbouwgronden.
- RothC is ook het model dat gebruikt gaat worden voor het bepalen van de nationale potentie van C-vastlegging door het FAO Global Soil Partnership en in VERRA methodiek wordt ook naar RothC gerefereerd.

Op basis van bodemgegevens van het perceel (C-gehalte en kleigehalte), het gewas, en de toegediende hoeveelheid organische meststoffen berekent het model de hoeveelheid C die in de bodem wordt vastgelegd. Het model houdt voor de berekening van de afbraak van C in de bodem rekening met het klimaat (neerslag, temperatuur en verdamping). Het model kan alleen de verandering van de C-voorraad in de bovengrond berekenen (bovenste 25 cm), eventuele C-vastlegging in diepere lagen wordt niet meegenomen. Zie Appendix 3 voor nadere toelichting op het RothC-model.

Sinds januari 2022 is er een online tool (Bodem C tool) beschikbaar, dit is een app op het online platform FarmMaps³. Het streven en de verwachting is dat deze tool de komende jaren wordt onderhouden en gratis beschikbaar blijft. De rekenregels van het RothC model zijn toegepast in deze tool Bodem C tool. De rekenregels voor de dynamiek van koolstof in de bodem zijn identiek aan het RothC model, zoals beschreven in Coleman en Jenkinson (2014). Alleen de aanvoer van koolstof naar

³ <https://www.farmmaps.net/nl>

de bodem wordt berekend op basis van de invoergegevens en op basis van in Nederland vastgestelde kengetallen. Deze online bodem C tool of het originele RothC model (Coleman en Jenkinson, 2014) moet voor de berekening van de baseline gebruikt worden.

De modelberekeningen worden gebruikt om een schatting te geven van de bodem C voorraad over 10 jaar bij ongewijzigde bedrijfsvoering. De resultaten van de individuele percelen moeten worden samengevoegd om tot een berekening op bedrijfsniveau te komen.

Mogelijk komen in de toekomst andere modellen vergelijkbaar met RothC beschikbaar die wetenschappelijk zijn beoordeeld en goed zijn bevonden. Indien gewenst kunnen deze bij een update van het methodedocument als optie worden toegevoegd.

5.1. Benodigde input

Om modelberekeningen voor bepaling van de baseline te kunnen uitvoeren, zijn de volgende data nodig:

- Bedrijfsgegevens van de afgelopen jaren (minimaal 3 jaar voor de start van het project, maximaal 5). Deze gegevens zijn grotendeels beschikbaar en controleerbaar via RVO en de mestboekhouding:
 - Bouwplan/ gewasrotatie
 - Type(n) mest en/of compost
 - Hoeveelheid organische mest (in ton/ha)
 - Toepassing en type(n) groenbemester
 - Groeiontwikkeling van de groenbemester (goed, matig, slecht)
 - Inwerking of (gedeeltelijke) afvoer van gewasresten
 - Kleigehalte per perceel (in%) zoals is weergegeven op de bemonsteringsuitslagen
- Het bodem C-gehalte in jaar 0. Het moment van meting voor de baseline is jaar 0, dan wel voorafgaande aan het groeiseizoen (1 februari) in jaar 1. Deze meting dient in hetzelfde seizoen plaats te vinden en op dezelfde plekken in het perceel als de eindmeting in jaar 10 (volgens het bemonsteringsprotocol voor bepaling van het fosfaatgehalte van de bodem).
- Informatie over mogelijke wijzigingen in de wetgeving in jaar 0 t.o.v. jaren -3 t/m -5. Berekeningen van de baseline moeten zijn gebaseerd op de stand van het vigerend beleid in jaar 0. Dit houdt in dat alle vastgestelde beleid wordt meegenomen in de baseline en ook voorgenomen beleid dat concreet genoeg is uitgewerkt.

5.2. Monstername

Om koolstof in de bodem te meten, moeten er in een perceel monsters tot 25 cm diep genomen worden, omdat er vanuit wordt gegaan dat in de bovenste laag van de bodem zich de meest organische stof bevindt. Deze bemonsteringsdiepte sluit aan bij de praktijk, waarbij de standaard bemonsteringsdiepte voor akkerland 25 cm is. Voor grasland wijkt dit wel af van de standaard bemonsteringsdiepte, maar is noodzakelijk omdat het wortelstelsel van gras toch vaak dieper dan 10 cm is en dat draagt bij aan bodemkoolstof. In de IPCC-guidelines, internationale standaarden, en de Nederlandse emissierapportage wordt gerekend met een bodemdiepte van 30 cm. Vanwege de aansluiting bij de praktijk is echter gekozen voor een bodem- en bemonsteringsdiepte van 25 cm, wat ook beter overeenkomt met de gemiddelde ploegdiepte.

Per perceel moeten 40 deelmonsters genomen worden door een organisatie op het gebied van bodembemonstering die is geaccrediteerd bij de Raad van Accreditatie (rva.nl). Deze monsters worden genomen volgens protocol² met GPS, zodat na 10 jaar op dezelfde plekken kan worden bemonsterd. Deze monsters worden samengevoegd tot één bodemmonster dat wordt geanalyseerd, zodat de heterogeniteit binnen een perceel wordt meegenomen. Deze heterogeniteit geeft al aan dat er sprake is van een hoeveelheid koolstof in de bodem met een bandbreedte. Deze heterogeniteit kan afhangen van natuurlijke verschillen, zoals processen die het landschap bepalen (geomorfologie, zoals kreekruigen, veenlagen, rivierlandschappen etc.), maar ook van verschillen die op het land door bodembeheer ontstaan, denk aan kopakkers, stukken land die door de tijd bij andere gewaspercelen ingedeeld raken, verschillen in bemesting, etc. Conform het protocol voor de bemonstering van de bodem ter bepaling van het fosfaatgehalte van de bodem (het P-CaCl₂-getal)⁴, mag een perceel mag een maximale omvang hebben van vijf hectare voor één representatief mengmonster. Voor grotere percelen moeten meerdere mengmonsters genomen worden. Aan elkaar grenzende percelen mogen worden samengevoegd tot een totale omvang van ten hoogste vijf hectare.

5.3. Analysemethode

Er zijn verschillende methoden die worden gebruikt om de hoeveelheid organische stof of koolstof in de bodem te meten. Het koolstofgehalte kan worden bepaald door de elementaire analysemethode (TOC), conform de internationale standaard ISO 10694:1995. Voor organische stof analyses bestaan twee klassieke geaccrediteerde methodes i) thermische destructie (gloeiverlies methode), ii) chemische oxidatie (dichromaatmethode). Daarnaast zijn er ook twee nieuwe geaccrediteerde methoden, waarbij via spectroscopie het OS- of C-gehalte indirect wordt afgeleid, hiervoor zijn twee methoden beschikbaar i) Nabij InfraRood (NIR) en ii) Mid-Infrarood (MIR). Deze nieuwe methoden zijn goedkoper, en tegenwoordig de standaard in Nederland voor bodemanalyses in de landbouwpraktijk. Metingen van het organisch C-gehalte hebben in dit geval de voorkeur, aangezien dan de onzekerheid in de omrekening van OS naar C vermeden wordt. Als deze niet beschikbaar zijn kan ook het OS-gehalte gebruikt worden. In dat geval wordt dit met de factor 0,54 vermenigvuldigd om het OC gehalte te berekenen. Deze factor 0,54 is de gemiddelde OC-OS-ratio, gebaseerd op de metingen in CC-NL (Tol-Leenders et al., 2019).

In principe is elk van deze methoden toegestaan om te gebruiken binnen de SNK, mits dit plaatsvindt door geaccrediteerde organisaties. Belangrijk is hierbij dat dezelfde werkwijze en analysemethode wordt gebruikt bij de start van het project (jaar 0) en bij de afronding van het project (jaar 10) en dat elke keer in hetzelfde seizoen wordt bemonsterd (bij voorkeur in het najaar).

⁴ Hierbij kan worden aangesloten bij het protocol voor bemonstering van de bodem ter bepaling van het PAL-getal en het Pw-getal. Zie <https://www.rvo.nl/sites/default/files/Protocol%20Fosfaatdifferentiatie%20en%20Derogatie.pdf>

6. Berekening koolstofvastlegging

Net als voor de berekening van de ontwikkeling van de bodem C voorraad in de baseline, moet ook voor de situatie met maatregelen (project) een modelberekening worden gemaakt. De modelberekeningen worden gebruikt om een schatting te geven van de bodem C voorraad over 10 jaar voor de situatie met gewijzigde bedrijfsvoering. Hiervoor wordt de baseline berekening aangepast met de voorgenomen maatregelen, bijv. verandering in gewasrotatie, toepassing groenbemesters of een verandering in organische bemesting. In januari 2022 komt een online praktijktool beschikbaar op het platform FarmMaps dat voor deze berekeningen gebruikt kan worden. Deze tool is gebaseerd op de rekenregels van het RothC-model. Voor het berekenen van de ontwikkelingen van de bodem C voorraad moet gebruik gemaakt worden van het RothC model of de Bodem C tool in FarmMaps.

Na jaar 10 moet voor alle deelnemende percelen weer een bodemmonster worden genomen en het C gehalte worden bepaald. Voor deze bodemmonsters geldt dat deze op dezelfde manier en op dezelfde plaatsen worden bemonsterd en geanalyseerd als in jaar 0 (zie Hoofdstuk 5). Op basis van deze bodemmetingen wordt de C voorraad berekend. Met de berekende C voorraad wordt de door het model berekende C toename in de bodem gevalideerd. De gemeten C-gehaltes moeten worden omgerekend naar C-voorraad op basis van de volgende formule:

$$C\text{-voorraad bodem (in ton C/ha)} = \text{dichtheid (in kg/dm}^3\text{)} \times \text{bodemdikte (in m)} \times 10.000 \times C\text{-gehalte (in kg/kg)}$$

De dichtheid moet als volgt berekend op basis van formules van Wösten et al. (2001) voor kleigronden en Hoekstra en Poelman (1982) voor zandgronden (gehalte is uitgedrukt in procenten):

$$Dichtheid_{klei} = 1 / (0.6117 + (0.003601 * \text{kleigehalte}) + (0.002172 * (\text{OS-gehalte})^2) + (0.01715 * \ln(\text{OS-gehalte})))$$

$$Dichtheid_{zand} = 1 / (0.667 + (0.021 * \text{OS-gehalte}))$$

Indien alleen het C-gehalte is gemeten, dan kan het OS-gehalte worden bepaald door het C-gehalte met een factor 2 te vermenigvuldigen. De verschillende beschikbare methoden om bodemkoolstof te meten, verschillen o.a. qua kosten en betrouwbaarheid. Vanwege de verwachte kleine verandering in bodemkoolstofvoorraad lijkt een hoge nauwkeurigheid wenselijk. Daar staat tegenover dat het belangrijk is de kosten van het systeem relatief beperkt te houden. Omdat er niet op perceelsniveau wordt afgerekend m.b.t. het behaalde effect, maar op projectniveau, hoeft een beperkte foutenmarge geen probleem te vormen. Uitgaande van een normale verdeling, waarbij fouten naar boven even vaak voorkomen als fouten naar onderen, zal op projectniveau het projecteffect alsnog redelijk geschat kunnen worden. De toename in bodem-C op basis van het gemiddelde van alle veldmetingen - net als in het methodedocument 'Blijvend Grasland' - maximaal 50% afwijken van de waarden berekend met het model.

7. Bepaling van de emissiereductie

De netto vastgelegde CO₂ of voorkomen CO₂ emissie wordt bepaald uit het verschil tussen de berekende koolstofvoorraad voor de baseline na 10 jaar en de berekende koolstofvoorraad voor de situatie met voorgenomen maatregelen (project) na 10 jaar. De jaarlijkse CO₂ vastlegging per perceel kan dan als volgt worden berekend:

$$CO_2_vastlegging = 44/12 * ((C_project_{jaar10} - C_baseline_{jaar10})/10) * areaal$$

CO₂_vastlegging = CO₂ vastlegging per perceel in ton CO₂/jaar

44/12 is de factor voor omrekening van C naar CO₂.

C_baseline = koolstofvoorraad in de bodem (voor de laag 0-25 cm) in ton C/ha voor de baseline

C_project = koolstofvoorraad in de bodem (voor de laag 0-25 cm) in ton C/ha voor het project

Areaal = Areaal van het perceel in ha

8. Monitoring parameters

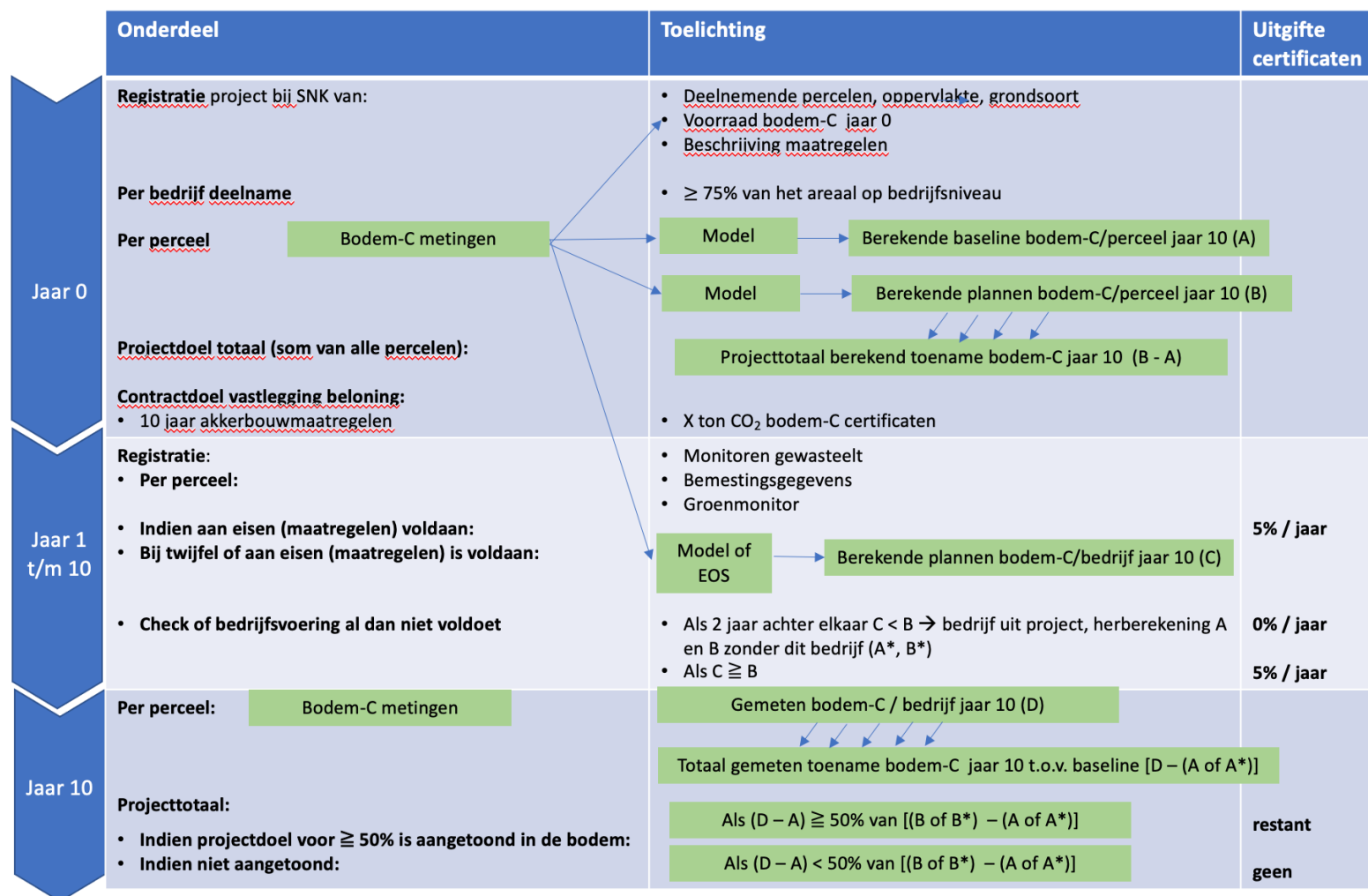
Dit hoofdstuk beschrijft het proces van de voorgeschreven monitoring en de uitgifte van CO₂-certificaten tijdens en na de monitoringperiode en de gebruikte parameters.

8.1. Proces van monitoring en uitgifte van certificaten

Bij de keuze voor de opzet van de methode speelt de relatief grote onnauwkeurigheid van de uitkomsten van organische stof bepalingen voor het bepalen van toename van de koolstofvoorraad op perceelsniveau een rol. Daarom vindt uitkering van certificaten plaats op basis van het model en de volgende voorwaarden:

- *Minimaal 75% van het areaal* op bedrijfsniveau ($t=0$) doet mee in het project. Om te zorgen dat op bedrijfsniveau geen afwenteling plaatsvindt naar andere percelen wordt geëist dat op minimaal 75% van het bedrijfsareaal perceelspecifieke maatregelen worden genomen voor een verbeterde koolstofvastlegging.
- De *projectgemiddelde resultaten* van de bodemmetingen bedragen minimaal 50% van het gestelde doel. Omdat individuele organischestof metingen te onnauwkeurig zijn, gaan we uit van een berekende CO₂-vastlegging. Desalniettemin is het belangrijk om daadwerkelijk te meten op de deelnemende percelen. De onnauwkeurigheid van de *gemiddelde waarden* van alle metingen te samen is kleiner dan de onnauwkeurigheid van de meting per perceel. Daarom staan we een afwijking toe van 50% op het doelresultaat, waarbij het resultaat is berekend als gemiddelde van alle perceelsmetingen te samen. Een afwijking van 50% op het doelresultaat wordt dan als redelijk ingeschat om als voorwaarde te hanteren.

Schematisch is de wijze van monitoring weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2: schematische weergave van de opzet van monitoring en uitgifte van certificaten. Er is hier uitgegaan van een projectperiode van 10 jaar

Het onderstaande geeft de wijze van monitoring en uitgifte van certificaten chronologisch weer.

Jaar 0

Registratie: Bij de start van het project (het totaal van de deelnemende bedrijven) wordt het project geregistreerd bij de Stichting Nationale Koolstofmarkt en wordt het projectplan ingediend met de in dit methodedocument gevraagde informatie.

Van alle deelnemende bedrijven moet worden geregistreerd:

- Deelnemende percelen met de oppervlakte en grondsoort.
- Niet-deelnemende percelen.
- Beschrijving van de maatregelen op de percelen die meedoen in het project die zijn uitgevoerd in de afgelopen 3 tot 5 jaar
- Beschrijving van de voorgenomen maatregelen op de percelen die meedoen in het project.

Alle percelen moeten volgens protocol worden bemonsterd om het C-gehalte te bepalen. Aan de hand van het C-gehalte en het kleigehalte van de bodem wordt de voorraad bodemkoolstof in de bovenste 25 cm berekend.

Voor alle percelen van een bedrijf dat deelneemt aan het project geldt de verplichting dat:

- modelmatig de baseline van elk deelnemend perceel wordt bepaald voor 10 jaar.
- modelmatig een inschatting wordt gemaakt van de effecten van de maatregelen in ton CO₂/ha/jaar voor 10 jaar.
- de additionele koolstofvastlegging per perceel wordt bepaald door het verschil van de situatie met maatregelen en de baseline te berekenen.

Het totale projectdoel moet vervolgens worden bepaald door de additionele koolstofvastlegging van alle deelnemende percelen van een bedrijf en alle deelnemende bedrijven binnen een project te aggregeren.

Contractdoel vastlegging beloning: Het totale projectdoel is X ton CO₂ bodem-C certificaten voor 10 jaar voor alle deelnemende bedrijven gezamenlijk als gevolg van maatregelen die gedurende 10 jaar op de deelnemende percelen genomen worden en leiden tot een toename van de koolstofvastlegging.

Jaar 1 t/m 10

In het projectplan moet worden opgenomen hoe jaarlijks wordt gecontroleerd of de geplande maatregelen daadwerkelijk worden uitgevoerd. De agrariërs stellen hiervoor bedrijfsgegevens beschikbaar. Deze worden jaarlijks (steekproefsgewijs) vergeleken met de voorgenomen maatregelen. Hierbij moet informatie van RVO (gewassen per perceel, bemestingsgegevens en data van de mineralenboekhouding op perceelsniveau) beschikbaar worden gesteld, aankoopbonnen voor bijvoorbeeld compost en informatie uit de Groenmonitor (of een vergelijkbaar systeem op basis van NDVI⁵) om bedekking van percelen te beoordelen. Als de maatregelen zijn uitgevoerd, wordt in het betreffende jaar 5% van de certificaten uitgekeerd. Dit betekent dat als er ieder jaar aan alle eisen

⁵ NDVI = Normalized Difference Vegetation Index: een simple grafische indicator die wordt gebruikt om remote sensing-data te analyseren.

wordt voldaan, er in totaal 10 maal 5% van de certificaten (totaal 50%) wordt uitgekeerd. Wanneer er niet aan de maatregelen is voldaan, wordt de uitkering van dat jaar ingetrokken. Dat is het geval als naar het oordeel van de controleur de uitgevoerde maatregelen duidelijk niet meer overeenkomen met de afgesproken maatregelen én de gewijzigde maatregelen naar verwachting negatief doorwerken op de vastlegging van koolstof in de bodem.

Of de maatregelen leiden tot minder koolstofvastlegging bepaalt men door:

- a) het vergelijken van de EOS input (effectieve organische stof) van de gewassen op bedrijfsniveau van de geplande gewassen en de daadwerkelijk geteelde gewassen met behulp van het Handboek Bodem en Bemesting (zie [link](#))⁶ of:
- b) door opnieuw modelberekeningen uit te voeren waarbij zowel de situatie zoals opgenomen in het oorspronkelijke plan als de nieuwe situatie wordt doorgerekend. Aangezien er in de loop van de tijd mogelijk wijzigingen/verbeteringen aan het model worden toegevoegd, is het wel van belang om beide situaties met dezelfde modelversie door te rekenen.

Als twee jaar achter elkaar de werkelijke bedrijfsvoering van een bedrijf leidt tot een lagere bodem C vastlegging ten opzichte van de geplande bedrijfsvoering dan wordt dat bedrijf uit het project gezet.

Jaar 10

In jaar 10 wordt het project afgerond en moet het eindresultaat worden bepaald. Er wordt beoordeeld of bedrijven zich ook in het laatste jaar hebben gehouden aan de voorgenomen maatregelen vanuit het projectplan. Daarnaast worden bodemmetingen uitgevoerd om de koolstofvastlegging te bepalen.

Op projectniveau moet voor het project als totaal de gemeten bodem-C toename worden bepaald. Deze gemeten bodem-C toename wordt vergeleken met het projectdoel totaal (zoals vastgesteld in jaar 0 of jaar 10. Zie uitleg hierboven). Als minimaal 50% van het 'projectdoel totaal' op projectniveau is gerealiseerd, wordt de resterende 50% van de certificaten uitgekeerd. Als minder dan 50% van het doel is gerealiseerd, vervalt de resterende uitkering van 50%, maar krijgt de eerste 50% (5% per jaar) wel de status 'geverifieerd'. 50% van de uitkering wordt dus gebaseerd op het nemen van de maatregelen en een modelmatig berekende toename van bodem-C, waarbij jaarlijkse controle plaatsvindt of de maatregelen op hoofdlijnen worden uitgevoerd. De andere 50% wordt uitgekeerd als *gemiddeld op projectniveau* uit bodem-C-metingen blijkt dat minimaal 50% van de berekende toename in bodem-C is gerealiseerd. Door te kiezen voor de *gemiddelde bodem-C toename op projectniveau* wordt de onnauwkeurigheid van individuele bodemmonsters deels uitgemiddeld.

8.2. Nadere beschrijving van parameters

Gebruikte parameters:

- Bij de start van het project wordt bodemkoolstof gemeten (zie a. hieronder voor procedure).
- Jaarlijks houden de deelnemers informatie bij die wordt gebruikt om te controleren of de geplande maatregelen zijn uitgevoerd.
- Controle of geen afwenteling op andere percelen binnen het bedrijf plaatsvindt: Voorwaarde voor deelname aan een project: minimaal 75% van het areaal is betrokken bij het project.

⁶ <https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/handeling/organische-stofbeheer/organische-stofbalans/aanvoerbronnen-effectieve-organische-stof.htm>

a. Procedure voor meting van bodemkoolstof

Zie hoofdstuk 5 'Vaststellen Baseline' voor de beschrijving van de procedure voor de meting van bodemkoolstof. Aan de hand van de afspraken en de startmeting wordt in jaar 0 van het project berekend wat de verwachte toename in bodem-C in jaar 10 is, alsmede wat de gemiddelde verwachte toename (in kg C/ha in de bovenste 25 cm) is van alle percelen die meedoen in het project (naar oppervlakte gewogen).

Na 10 jaar wordt de toename in bodem-C bepaald d.m.v. een tweede bodemmeting op alle percelen, conform het meetprotocol. De metingen worden geanalyseerd met gebruikmaking van dezelfde methode en (voor zover mogelijk) door hetzelfde laboratorium. Deze meting vormt een controlepunt voor de uitkering van de certificaten.

De gerealiseerde verandering in bodem-C in het 10^e jaar t.o.v. de baseline wordt voor ieder perceel als volgt berekend:

Voorraad bodem-C jaar 10 – voorraad bodem-C volgens baseline jaar 10.

De verandering in bodem-C voorraad van alle percelen binnen het project wordt gebruikt om op projectniveau het resultaat te berekenen.

Berekening gemiddelde toename bodem-C voorraad per hectare op projectniveau, waarbij alleen percelen meetellen waarbij de voorgaande 10 jaar is voldaan aan de voorwaarden:

$$\frac{\sum (\text{toename bodem-C per perceel in 10 jaar t.o.v. baseline})}{\sum (\text{oppervlakte per perceel binnen project})}$$

De gemiddelde toename van de bodem-C voorraad per hectare op projectniveau wordt vergeleken met de verwachte gemiddelde toename per deelnemende hectare t.o.v. de baseline zoals bepaald in jaar 0, danwel is aangepast in jaar 10. Als de gemeten toename minimaal 50% is van deze berekende hoeveelheid, wordt de einduitkering uitgekeerd.

Voorwaarde voor uitkering van 50% van de certificaten in jaar 10:

Gemiddelde gemeten toename bodem-C voorraad / ha op projectniveau in jaar 10 t.o.v. de baseline
> 0,50 * gemiddelde berekende toename bodem-C voorraad / ha op projectniveau t.o.v. de baseline.

b. Monitoring bedrijfsvoering

Jaarlijks moet worden gecontroleerd of zodanig aan de voorwaarden is voldaan dat het realistisch lijkt dat de koolstofvastlegging daadwerkelijk kan worden gerealiseerd. Beperkte aanpassingen in de bedrijfsvoering, die naar verwachting weinig tot geen invloed zullen hebben op de koolstofvastlegging, hebben geen gevolgen voor het project. Leidt de aangepaste bedrijfsvoering mogelijk wel tot een lagere koolstofvastlegging, dan krijgt het bedrijf dat jaar de certificaten niet uitgekeerd. Als twee jaar

achterelkaar de werkelijke bedrijfsvoering van een bedrijf leidt tot een lagere bodem-C vastlegging ten opzichte van de geplande bedrijfsvoering dan wordt dat bedrijf uit het project gezet.

Om de bedrijfsvoering te monitoren, dienen o.a. de volgende gegevens worden gebruikt:

- Data van de basisregistratie percelen (BRP): informatie over de teelt per perceel per jaar. (indien gewenst aangevuld met informatie waaruit blijkt dat de gebruiker van een perceel afwijkt van de gegevens in de BRP)
- Bemestingsgegevens en data mineralenboekhouding
- Aankoopbewijzen compost.
- Aankoopbewijzen groenbemesters
- De Groenmonitor (of vergelijkbaar systeem op basis van NDVI) geeft per perceel een overzicht van de bedekking in de afgelopen jaren. Dit geeft inzicht of daadwerkelijk groenbemesters zijn verbouwd.

9. Risicoanalyse en hoe daarmee om te gaan

Bij dit type project is ook gekeken naar mogelijke risico's dat de verwachte emissiereductie/CO₂ vastlegging niet gehaald wordt of niet kan worden vastgesteld of om andere reden niet meer voor certificering in aanmerking zou kunnen komen.

Hieronder staat beschreven hoe resterende risico's beperkt worden:

1. Het **waarderingsysteem** is gericht op verhoging van het organisch stofgehalte in landbouwbodems en is beperkt tot het verwaarden van bodemkoolstof. Hierbij is nagegaan wat het effect is op de broeikasgassen die in minerale landbouwgronden een grote rol spelen meegenomen; dus vooral koolstofdioxide (CO₂) en lachgas (N₂O). In hoofdstuk 4, staat beschreven hoe het risico op afwenteling wordt verrekend, waardoor het risico is ondervangen dat een overschatting van het netto CO₂-effect wordt gegeven
2. **Verlies van opgebouwde organische stof na contractperiode.** De maatregelen die leiden tot organische stof opbouw worden uitgevoerd in de contractperiode. Hierdoor is er strikt genomen geen garantie dat de CO₂ die is vastgelegd gedurende de contractperiode niet weer verdwijnt nadat het contract is afgelopen. Dit risico wordt beperkt als gemotiveerde agrariërs geselecteerd worden die dit als aanvullend verdienmodel beschouwen. In het contract moet een intentieverklaring worden opgenomen om duurzaam bodembeheer op de bedrijven voort te zetten na afloop van de contractperiode.
3. **Methodiek wordt ingehaald door de wetgeving.** De kans bestaat dat de komende jaren aanvullende regelgeving wordt ingesteld die bijdraagt aan de vastlegging van bodemkoolstof. Denk hierbij aan verplichting van rustgewassen en van groenbemesters. In de methodiek is al opgenomen dat alleen bovenwettelijke maatregelen meetellen, op het moment dat wetgeving is vastgesteld zullen deze maatregelen dan bij nieuwe projecten al in de baseline moeten worden meegenomen en kunnen er dus geen certificaten meer worden uitgegeven.
4. **Algemeen.** De Stichting Nationale Koolstofmarkt geeft aan dat een **risicobeheersingsplan nodig is ten aanzien van menselijke en natuurlijke risico's** op het verlies van broeikasgassen. De jaarlijkse uitgifte van 5% van de certificaten wordt gebaseerd op het nemen van de maatregelen. Als achteraf (na 10 jaar), op projectniveau op basis van metingen, blijkt dat de doelen voldoende zijn gerealiseerd, wordt de overige 50% van de certificaten in de buffer uitgegeven. Dit valt ruimschoots binnen de 85% die SNK hiervoor aanhoudt (SNK-Projectplan voor uitgifte van certificaten, versie 3.0).
5. **Faillissement van een contractpartij.** Een van de deelnemende partijen binnen een project kan failliet gaan en daardoor niet meer aan de verplichtingen voldoen. Kans: klein. De percelen die betrokken zijn in het project kunnen in andere handen overgaan. De nieuwe eigenaar van het perceel kan ervoor kiezen om in het project te blijven. Als percelen niet langer deel zijn van het project dan wordt uitkering van de certificaten vanaf dat moment gestopt.

Literatuur

- Byrne, K. & Kiely, G., 2009. Evaluation of Models (PaSim, RothC, CENTURY and DNDC) for Simulation of Grassland Carbon Cycling at Plot, Field and Regional Scale.
- CDM-advies. (2017). Criteria voor organischestofrijke meststoffen. Opgehaald december, 2021, https://www.wur.nl/upload_mm/1/1/f/565b8a2f-b4f3-42d9-b9bb-c14c2d089269_1733291_Oene%20Oenema%20bijlage%201.pdf
- CO₂ emissiefactoren. (2021). Lijst emissiefactoren. Opgehaald december, 2021, <https://www.co2emissiefactoren.nl/lijs-temissiefactoren/>
- Coleman, K., Jenkinson, D.S., Crocker, G.J., Grace, P.R., Klir, J., Korschens, M., Poulton, P.R., Richter, D.D., 1997. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using RothC-26.3. *Geoderma* 81, 29-44.
- Coleman, K. en D.S. Jenkinson, 2014. RothC - A model for the turnover of carbon in soil - Model description and users guide (Windows version). (updated June 2014). Rothamsted Research, Harpenden, UK.
- De Ponti, Tomek, Jennie van der Kolk, Thalisa Slier, Chris Koopmans, Hanneke Heesmans, Wim Dijkman, Carin Rougoor, Chantal Hendriks, Janjo de Haan, Gerard Velthof. (2021). Beleidssamenvatting 2020. Programma Slim Landgebruik.
- European Commission, Directorate-General for Climate Action, Radley, G., Keenleyside, C., Frelih-Larsen, A., et al. (2021). Setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU : technical guidance handbook, Publications Office, <https://data.europa.eu/doi/10.2834/056153>
- Hoekstra, C. en J.N.B. Poelman. (1982). Dichtheid van gronden gemeten aan de meest voorkomende bodemeenheden in Nederland. Stichting voor Bodemkartering, rapport nr. 1582.
- Lesschen, J. P., Heesmans, H., Mol-Dijkstra, J., van Doorn, A., Verkaik, E., van den Wyngaert, I., en Kuikman, P. (2012). Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw en natuur. Alterra-rapport 2396. 2012.
- Lesschen, J.P., Vellinga, T., van der Linden, A., Schils, R.L.M. (2020). Mogelijkheden voor monitoring van CO₂ vastlegging en afbraak van organische stof in de bodem op melkveebedrijven. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2993.
- Lesschen, J. P., Hendriks, C., Slier, T., Porre, R., Velthof, G. & Rietra, R. (2021). De potentie voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw. Wageningen: Wageningen Environmental Research. 87 p. (Rapport / Wageningen Environmental Research; no. 3130)
- Nori. (2021). Pilot Croplands Methodology. Opgehaald december, 2021, https://storage.googleapis.com/nori-prod-cms-uploads/Nori_Croplands_Methodology_1_2_5435488110/Nori_Croplands_Methodology_1_2_5435488110.pdf
- Ruysenaars, P. G., Coenen, P W H G, Rienstra, J D, Zijlema, P J, Arets, E J M M, Baas, K, et al. (2020). Committed to health and sustainability. RIVM.

- Smith, P., Smith, J.U., Powlson, D.S., McGill, W.B., Arah, J.R.M., Chertov, O.G., Coleman, K., Franko, U. et al. 1997. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. *Geoderma*, 81, S. 153-225.
- Tol-Leenders, D. van, M. Kotters, W. de Groot, P. Gerritsen, A. Reijneveld, F. van Egmond, H. Wösten, P. Kuikman. (2019). *Koolstofvoorraad in de bodem van Nederland (1998-2018): CC-NL*.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte. (2001). *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*. Vernieuwde uitgave 2001. Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, Alterra-rapport 153.

Bijlagen

Appendix I – Literatuur elders gebruikte vergelijkbare methodes

Methodes in andere credits programma's:

- Oostenrijk: Humuszertifikate, Oekoregion Kaindorf: <https://www.oekoregion-kaindorf.at/index.php?id=187>
- Duitsland : CO2-Plus Zertifikat, Biomassehof Algäu: <https://www.biomassehof.de/co2-plus-zertifikat/>
- VCS: VM0017 Adoption of Sustainable Agricultural Land Management, v1.0, 21 dec, 2011, door BioCarbon Fund en World Bank <https://verra.org/methodology/vm0017-adoption-of-sustainable-agricultural-land-management-v1-0/>
- VCS: VM0021 Soil Carbon Quantification Methodology, v1.0, 16 nov, 2010, door The Earth Partners: <https://verra.org/wp-content/uploads/2018/03/VM0021-Soil-Carbon-Quantification-Methodology-v1.0.pdf>
- rekentool: VMD0004 Estimation of stocks in the soil organic carbon pool (CP-S), v1.0 <https://verra.org/methodology/vmd0004-estimation-of-stocks-in-the-soil-organic-carbon-pool-cp-s-v1-0/>
- VCS: Specifiek voor grasland is de volgende prima te gebruiken: VM0032 Methodology for the Adoption of Sustainable Grasslands through Adjustment of Fire and Grazing, v1: <https://verra.org/methodology/vm0032-methodology-for-the-adoption-of-sustainable-grasslands-through-adjustment-of-fire-and-grazing-v1-0/>
- met daarbij een speciale leakage tool: VMD0040 Leakage from Displacement of Grazing Activities, v1.0: <https://verra.org/methodology/vmd0040-leakage-from-displacement-of-grazing-activities-v1-0/>
- Gold Standard: Soil Organic Carbon Framework Methodology, Version 1.0, 28 febr., 2020, <https://globalgoals.goldstandard.org/wp-content/uploads/2020/02/Gold-Standard-Soil-Organic-Carbon-Framework-Methodolgy.pdf>
- Gold Standard: Increasing Soil Carbon Through Improved Tillage Practices, 28 febr, 2020, <https://globalgoals.goldstandard.org/wp-content/uploads/2020/02/Gold-Standard-SOC-Module-Improved-Tillage.pdf>
- Australië: Measurement of Soil Carbon Sequestration in Agricultural Systems: <https://www.legislation.gov.au/Details/F2018L00089>
- Supplement: <http://www.environment.gov.au/system/files/consultations/072b4825-ec0f-49d9-991e-42dfa1fbae3/files/supplement-soil-carbon-agricultural-systems.pdf>
- Soil carbon guide: <http://www.cleanenergyregulator.gov.au/DocumentAssets/Documents/Understanding%20your%20soil%20carbon%20project%20-%20Simple%20method%20guide.pdf>
- Estimating sequestration of carbon in soil using default values method (model-based soil carbon) <http://www.cleanenergyregulator.gov.au/ERF/Pages/Choosing%20a%20project%20type/Opportunities%20for%20the%20land%20sector/Vegetation%20and%20sequestration%20methods/Estimating-sequestration-of-carbon-in-soil-using-default-values-model-based-soil-carbon.aspx>
- Australië: Sequestering carbon in soils in grazing systems method: <http://www.cleanenergyregulator.gov.au/ERF/Choosing-a-project-type/Opportunities-for-the-land-sector/Vegetation-methods/Sequestering-carbon-in-soil-in-grazing-systems>
- California: [Soil Enrichment Protocol Version 1.0 – Draft for Public Comment Model Calibration, Validation, and Verification Guidance for Soil Enrichment Projects](#) (April 17, 2020)

- PURO, biochar: https://static.puro.earth/live/uploads/tinymce/Puro_Documents/Puro-CO2-removal-marketplace_2019-10-08.pdf

Appendix II - Toelichting statistische analyse benodigde steekproefomvang

Het doel is om op projectniveau aan te tonen dat er een stijging heeft plaatsgevonden in het organische stofgehalte. Als een stijging kan worden aangetoond, vindt een beloning plaats. Dit betekent dat er twee typen fouten kunnen ontstaan bij het statistisch analyseren van de verandering in organische stofgehalte:

- 1) Het organische stofgehalte is niet verhoogd, maar door variantie in de data concluderen wij dat er wel sprake is van een verhoging. De ondernemers worden dan ten onrechte beloond.
- 2) Het organische stofgehalte is wel verhoogd, maar door variantie in de data kunnen wij niet bewijzen dat dit het geval is. De ondernemers worden dan ten onrechte afgestraft.

Beide situaties zijn onwenselijk. De kans dat deze fouten optreden kan worden gecontroleerd door middel van een voldoende grote steekproefomvang. Een uitgebreidere uitleg bij de steekproefberekeningen staat onderaan dit document.

Box 1. Waarom maken we een berekening voor de steekproefomvang?

Verhogen van het organische stofgehalte kan uiteraard plaatsvinden binnen grote of kleine projecten. Het punt is dat men ook moet kunnen *bewijzen* dat dit is gebeurd. Stel dat u op 5 percelen de verandering in het organische stofgehalte meet: in jaar 0 gemiddeld 3% en in jaar 10 gemiddeld 4%. Dan heeft duidelijk een verandering plaatsgevonden. Maar stel nou dat het in jaar 10 om 3,1% gaat: is het dan nog steeds een *bewezen* toename? Een verandering van 0,1% kan immers ook komen door een meetfout in het laboratorium, doordat er net op een iets vruchtbaarder deel van het perceel grond verzameld is, of een klontje compost in het grondmonster is beland etc. Met andere woorden: een *grote* toename is makkelijk te bewijzen, maar een *kleine* toename is lastig te bewijzen. Om dit toch te doen, kan men meer percelen gaan meten. Daardoor wordt de impact door meetfouten en andere bronnen van variatie kleiner. Daarom moeten we vantevoren een inschatting maken: welke toename denken we dat realistisch is en welke bronnen van variatie/ruis verwachten we allemaal?

Steekproefomvang akkerbouw

Het organische stofgehalte in de akkerbouw wisselt sterk tussen regio's, bouwplannen en grondsoorten. Hoe hoger het aanvankelijke organische stofgehalte, hoe lastiger om een verhoging te realiseren. Een ondernemer met 4% organische stof, een bouwplan met 1:4 rustgewassen en maximale inzet van groenbemesters zal meer moeite hebben om het organische stofgehalte verder te verhogen dan een ondernemer met 2% organische stof en een bouwplan met 1:6 rustgewassen. Daarnaast spelen ook andere factoren een rol: in bodems met een hoog kalkgehalte (zoals o.a. in de polder) is de opbouw van organische stof veel lastiger dan bij lage kalkgehalten. Men moet dus een realistische inschatting maken: welke toename van organische stof lijkt haalbaar?

Op basis van simulaties in RothC voor de maatregel 'grotere inzet rustgewassen' lijkt een absolute toename van 0,07% in 10 jaar haalbaar. Echter, in de praktijk zullen vaak combinaties van maatregelen worden genomen en ook in de praktijk blijkt dat verhogen van het organische stofgehalte met een of enkele tienden procent onder bepaalde omstandigheden mogelijk is. Men moet zelf inschatten welke

toename een realistische doelstelling vormt, gegeven de situatie op het startmoment en de maatregelen die men verwacht toe te passen.

Een andere parameter die mede bepaalt hoe groot de steekproefomvang moet zijn, is de variantie van de toename in organische stofgehalte: als men verwacht dat er tussen percelen grote verschillen zijn in de verandering van het organische stofgehalte, is het moeilijker om aan te tonen dat er een significante toename heeft plaatsgevonden. Op basis van RothC simulaties voor rustgewassen in combinatie met de meetfouten in het laboratorium komt een variantie van ongeveer 0,4 naar voren. Echter, hoe meer maatregelen wel of niet worden gecombineerd, hoe meer variatie er ontstaat tussen percelen. Het is dus goed mogelijk dat de variantie in de praktijk hoger blijkt.

In onderstaande tabel zijn voorbeeldberekeningen opgenomen van de benodigde steekproefomvang (aantal mengmonsters) bij een bepaalde variantie en verwachte toename van het organische stofgehalte. Hoe kleiner de variatie tussen percelen en hoe groter de verwachte toename van organische stof, hoe minder metingen nodig zijn. Een belangrijke component in de variantie is de mogelijke meetfout in het laboratorium. Door de metingen **in duplo**⁷ te analyseren wordt de variantie weer wat kleiner en kan de steekproefomvang worden teruggebracht.

Variantie* van de verschillen s_d^2	Toename OS% (absoluut)	Benodigd aantal metingen
0,3 (laag)	0,07	663
	0,2	81
	0,3	36
0,5	0,07	1105
	0,2	135
	0,3	60
0,7 (hoog)	0,07	1546
	0,2	189
	0,3	84

* 'variantie' is een statistische maat voor de hoeveelheid spreiding in een reeks waarden, de mate waarin deze onderling verschillen (in dit geval een reeks organische stofgehaltenes)

Toelichting steekproefberekeningen

Het analyseren van de verandering in het organische stofgehalte gedurende 10 jaar kan worden gedaan met behulp van een gepaarde t-toets. Op elk perceel wordt een monster verzameld bij aanvang van het project en na 10 jaar. De verandering in organische stofgehalte (d) wordt voor elk perceel vastgelegd. Vervolgens wordt onder alle deelnemende percelen de gemiddelde verandering $\bar{d}$ bepaald.

De gepaarde t-toets biedt antwoord op de vraag of men *met voldoende zekerheid* kan concluderen dat het organische stofgehalte is gestegen. Deze zekerheid hangt samen met het feit dat er ook fouten kunnen optreden bij het analyseren van de data. Het gaat om twee typen fouten, zoals bovenin deze appendix is weergegeven.

⁷ Een grondmonsters wordt dan tweemaal geanalyseerd en de gemiddelde uitkomst wordt gebruikt.

Het is mogelijk om de kans op deze fouten te controleren (beperken) door middel van een voldoende grote steekproefomvang. Een type 1 fout (door variantie in de data) is onwenselijk voor de verstrekker van carbon credits of andere vormen van financiële beloning; een type 2 fout (een toename wordt niet bewezen) is onwenselijk voor de agrarisch ondernemer. In dit opzicht is het dan ook wenselijk om het risico voor beide partijen

Zoals hierboven genoemd, willen wij de kans op een type 1 en 2 fout (α en β) beperken tot 5%. Om de steekproefomvang te berekenen is dus nog een inschatting nodig van de variantie s_d^2 en het kleinste relevante verschil d dat detecteerbaar moet zijn.

Om te berekenen welke steekproefomvang hiervoor nodig is, maken we gebruik van de formule in box 2.

Box 2. Berekening van de steekproefomvang.

De benodigde steekproefomvang voor een gepaarde, eenzijdige t-toets wordt berekend met de volgende formule:

$$n = \frac{s_d^2 * (z_\alpha + z_\beta)^2}{d^2}$$

n De benodigde steekproefomvang

s_d^2 De variantie in van de veranderingen in organische stof

α De kans om de nulhypothese (hier: geen verandering in organische stof) ten onrechte te verwerpen

β De kans dat een foute nulhypothese niet als zodanig wordt herkend, ofwel een onvermogen om een toename in organische stofgehalte te detecteren

z De z-score is een gestandaardiseerde waarde, uitgedrukt in het aantal eenheden van de standaardafwijking s

d De kleinste relevante verandering in het organische stofgehalte die men wil kunnen waarnemen

Er zijn verschillende factoren die bijdragen aan de variantie s_d^2 in de data:

- 1) Bodems zullen op verschillende wijze koolstof opslaan. Dit hangt af van o.a. de bodemsoort, management en het organische stofgehalte bij aanvang van het project.
- 2) Binnen een perceel is er sprake van ruimtelijke heterogeniteit: delen van het perceel kunnen een verschillend organisch stofgehalte hebben. Het mengmonster kan na 10 jaar net op andere plekken worden gestoken en hierdoor een andere samenstelling hebben. Deze variantie wordt beperkt door het monster niet op het hele perceel te verzamelen, maar binnen een kleiner meetvlak.
- 3) Het laboratorium dat de analyse uitvoert heeft een marge van onzekerheid. In het uiterste geval kan het gaan om afwijkingen tot 10%. Deze variantie kan deels ingeperkt worden door de monsters **in duplo** te analyseren.

Met behulp van simulaties in RothC is er een inschatting gemaakt van de variantie in de toename van het organische stofgehalte op verschillende bodems. Daarnaast heeft ook de onnauwkeurigheid van het laboratorium een grote invloed. Om hier een inschatting van te maken, zijn wij uitgegaan van 'worst case scenarios'. De analyse heeft een onnauwkeurigheid tot 10%. In het meest extreme geval kan een verandering in organische stof zwaar onderschat worden, als de analyse van de nulmeting 10% hoger uitvalt dan werkelijk het geval is en de eindmeting na 10 jaar 10% lager uitvalt dan werkelijk het

geval is. In de omgekeerde situatie wordt de toename in organische stof zwaar overschat als de nulmeting 10% lager uitvalt dan werkelijk het geval is en de eindmeting na 10 jaar 10% hoger uitvalt dan werkelijk het geval is. Deze extremen kunnen worden toegepast op modelsimulaties van de toename van het organische stofgehalte om zo een inschatting te maken van de totale variantie.

Appendix III – Beschrijving RothC Model

Het RothC model houdt rekening met de effecten van bodemtype, temperatuur, vochtgehalte en bodembedekking op de afbraak van organische koolstof. Het model gebruikt maandelijkse tijdstappen om veranderingen in de organische-koolstofvoorraad te berekenen op een tijdschaal van één jaar tot eeuwen. Voor de berekeningen zoals hier in deze methode worden beschreven is gebruikgemaakt van de RothC- versie 26.3 zoals beschreven in Coleman en Jenkinson (2014). In het RothC-model wordt de koolstof verdeeld over vier actieve compartimenten en een deel inerte organische stof. Deze vier actieve compartimenten/pools zijn afbreekbaar plantmateriaal, resistent plantmateriaal, microbiële biomassa en humus. Elk van deze vier compartimenten heeft zijn eigen specifieke afbraakcoëfficiënt (de afbraak is een fractie van de aanwezige hoeveelheid). De afbraak-coëfficiënt per compartiment wordt beïnvloed door textuur, temperatuur, vocht en bodembedekking. De afbraak wordt in de meeste bodem C-modellen, waaronder ook RothC, beschreven als een zogeheten eerste-orde-proces. Deze afbraakconstanten zijn bepaald op basis van de langetermijn experimenten in Rothamsted en worden normaal gesproken niet aangepast voor gebruik van het model.

Voor de modelberekening met RothC zijn de volgende gegevens nodig: gemiddelde gewasrotatie (welk gewas en eventueel ook gewasopbrengst), bijbehorende voorgenomen bemesting, en huidig en toekomstig bodembeheer. Daarnaast is informatie nodig over het bodem C gehalte en kleigehalte van het perceel. Op basis van de locatie kunnen de klimaatgegevens automatisch worden ingeladen. Het verschil in de bodem C balans tussen de huidige praktijk (baseline) en met de voorgenomen maatregelen (project) is dan de vast te leggen hoeveelheid CO₂/ha/jaar, die berekend wordt als gemiddelde over de projectduur.

Referenties:

- Byrne, K. & Kiely, G., 2009. Evaluation of Models (PaSim, RothC, CENTURY and DNDC) for Simulation of Grassland Carbon Cycling at Plot, Field and Regional Scale.
- Coleman, K. en D.S. Jenkinson, 2014. RothC - A model for the turnover of carbon in soil - Model description and users guide (Windows version). (updated June 2014). Rothamsted Research, Harpenden, UK.
- Coleman, K., Jenkinson, D.S., Crocker, G.J., Grace, P.R., Klir, J., Korschens, M., Poulton, P.R., Richter, D.D., 1997. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using RothC-26.3. *Geoderma* 81, 29-44.
- Conijn, J.G. and J.P. Lesschen, 2015. Soil organic matter in the Netherlands; Quantification of stocks and flows in the top soil. Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre), PRI report 619 / Alterra report 2663.
- Lesschen, J.P., Vellinga, T., van der Linden, A., Schils, R.L.M., 2020. Mogelijkheden voor monitoring van CO₂ vastlegging en afbraak van organische stof in de bodem op melkveebedrijven. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2993.
- Smith, P., Smith, J.U., Powlson, D.S., McGill, W.B., Arah, J.R.M., Chertov, O.G., Coleman, K., Franko, U. et al. 1997. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. *Geoderma*, 81, S. 153-225.