

# Beschrijving en ontwikkeling Praktijktool BodemCoolstof

Chantal Hendriks, Jan Peter Lesschen, Bart Timmermans, Marjoleine Hanegraaf, Wim  
Dijkman, Carin Rougoor, Joost Cruijssen, Jonas Schepens

# Colofon

Dit onderzoek is uitgevoerd door WEnR, WPR, LBI, en CLM met subsidie van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend Programma Slim Landgebruik (BO-53-002).

December, 2021

Contact: [Slimlandgebruik@wur.nl](mailto:Slimlandgebruik@wur.nl)

Omschrijving rapport

Hendriks C.M.J, Lesschen J.P., Timmermans B., Joost Cruisen, Hanegraaf M., Dijkman W., Rougoor C., Schepens J., 2021. Ontwikkelen en testen Praktijktool Bodem C.

# Inhoudsopgave

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Samenvatting .....                                                           | 5  |
| 1    Introductie .....                                                       | 6  |
| 1.1    Belang .....                                                          | 6  |
| 1.2    Doel .....                                                            | 6  |
| 1.3    Achtergrond .....                                                     | 6  |
| 2    Behoeftte vanuit de praktijk .....                                      | 8  |
| 3    Praktijktool .....                                                      | 9  |
| 3.1    Conceptueel model .....                                               | 9  |
| 3.2    Invoeren gewas- en managementgegevens .....                           | 9  |
| 3.2.1    Gewas- en managementhistorie invoeren .....                         | 9  |
| 3.2.2    Standaard toekomstscenario ontwikkelen .....                        | 10 |
| 3.2.3    Koolstofmaatregelen testen in alternatieve toekomstscenario's ..... | 10 |
| 3.3    Rekenmodel .....                                                      | 11 |
| 3.4    Resultaten .....                                                      | 13 |
| 3.5    Gevoeligheid en onzekerheid rekenmodel .....                          | 14 |
| 4    Testen tool door de praktijk .....                                      | 16 |
| 4.1    Invoergegevens invullen .....                                         | 16 |
| 4.1.1    Feedback uit de praktijk .....                                      | 16 |
| 4.1.2    Uitgevoerde acties .....                                            | 16 |
| 4.2    Testen van maatregelen .....                                          | 16 |
| 4.2.1    Feedback uit de praktijk .....                                      | 16 |
| 4.2.1    Uitgevoerde acties .....                                            | 17 |
| 4.3    Resultaten – weergave en gewenste informatie .....                    | 17 |
| 4.3.1    Feedback uit de praktijk .....                                      | 17 |
| 4.3.2    Uitgevoerde acties .....                                            | 17 |
| 4.4    Algemene opmerkingen .....                                            | 18 |
| 5    Zichtbaarheid en gebruik .....                                          | 19 |
| 5.1    Webapplicatie platform FarmMaps .....                                 | 19 |
| 5.2    Gebruik vergroten door koppeling aan andere tools .....               | 19 |
| 5.2.1    Kringloopwijzer .....                                               | 19 |
| 5.2.2    Cool Farm Tool .....                                                | 19 |
| 5.3    Plannen die zichtbaarheid tool vergroten .....                        | 20 |
| 6    Discussie .....                                                         | 21 |
| 6.1    Belang praktijktool op nationaal niveau .....                         | 21 |

|           |                                                 |    |
|-----------|-------------------------------------------------|----|
| 6.2       | Andere koolstoftools .....                      | 21 |
| 6.3       | Verbeterpunten praktijktool BodemCoolstof ..... | 23 |
| 6.3.1     | Verbeterpunten interface en rekenmodel .....    | 23 |
| 6.3.2     | Kennishiaten .....                              | 24 |
| 7         | Conclusie.....                                  | 25 |
| 8         | Referenties.....                                | 26 |
| Bijlage A | .....                                           | 28 |
| Bijlage B | .....                                           | 31 |
| Bijlage C | .....                                           | 34 |

## Samenvatting

Om te voldoen aan de klimaatdoelstelling van 0,5 Mton extra CO<sub>2</sub> vastlegging in minerale landbouwbodem vanaf 2030, is het belangrijk dat agrarische ondernemers inzicht krijgen in het effect van koolstofmaatregelen op hun bedrijf en dat ze op deze manier gestimuleerd worden in het nemen van koolstofmaatregelen. Uit interviews en gesprekken met de sector is gebleken dat zowel bij akkerbouwers als bij melkveehouders dit inzicht momenteel vaak ontbreekt. Daarom is er vanuit het programma Slim Landgebruik een praktijktool ontwikkeld en getest met de praktijk. Dit rapport geeft een technische beschrijving van de tool en de stappen die doorlopen zijn voor de ontwikkeling van de tool. De tool berekent de koolstofbalans, de CO<sub>2</sub> vastlegging en de verandering in het organisch stof gehalte in de bouwvoor (0-25cm) over de tijd. De tool kan naast een standaard toekomstscenario, waarbij het koolstofmanagement uit het verleden voortgezet wordt in de toekomst (de baseline), ook alternatieve toekomstscenario's doorrekenen. Zodoende kan het effect van verschillende koolstofmaatregelen getoetst worden op perceels- en bedrijfsniveau. De inzichten die de tool biedt, helpen bij het maken van onderbouwde keuzes rondom bodemkoolstofmanagement die passen bij de visie en het beheer van een akkerbouwbedrijf of (grondgebonden) melkveehouderij.

Uit interviews met de sector bleek dat er momenteel verschillende bronnen geraadpleegd worden om inzicht te krijgen in de organische stofbalans op perceels- of bedrijfsniveau (bijv. Eurofins door akkerbouwers, en de Kringloopwijzer door veehouders). Deze bronnen rekenen de koolstofbalans vaak uit aan de hand van de hoeveelheid effectieve organische stof die toegediend wordt, zonder rekening te houden met het bodem organische stofgehalte en dus met de koolstofopbouw en afbraak over tijd. De praktijktool BodemCoolstof is gebaseerd op het wetenschappelijk onderbouwde en wereldwijd toegepaste dynamische procesmodel RothC. Het model berekent de jaarlijkse koolstofafbraak in minerale bodems op basis van vijf koolstofcompartimenten (oftewel pools), die elk een eigen afbraaksnelheid hebben. De afbraaksnelheid is afhankelijk van het bodemvocht, temperatuur, bodembedekking, en het type en de hoeveelheid koolstofaanvoer. Het model heeft relatief weinig invoergegevens nodig; weersgegevens, bodemgegevens (klei- en organische stofgehalte), en historische bedrijfsmanagement gegevens.

De meeste koolstofmaatregelen waarbij aangetoond is dat ze bijdragen aan koolstofvastlegging kunnen met de tool getest worden: i) verbeteren gewasrotatie, door bijvoorbeeld een graan gewas toe te voegen aan de standaard rotatie, ii) extra vaste mest of compost toedienen, iii) groenbemesters/vanggewassen zaaïen na de oogst, iv) gewasresten achterlaten, v) meer blijvend grasland, wisselteelt mais-gras (60-20-20), en vii) leeftijd grasland verhogen. Om de maatregelen vogelakkers, en akkerranden door te rekenen, zou het perceel opgedeeld moeten worden in sub-percelen. Momenteel zijn deze maatregelen daardoor nog lastig door te voeren.

De tool is getest met boeren, agrarisch adviseurs en accountants. Uit deze gesprekken zijn een aantal verbeterpunten gekomen die deels al meegenomen zijn in de online versie van de tool die nu beschikbaar is op het platform FarmMaps ([www.farmmaps.eu](http://www.farmmaps.eu)). De tool wordt op dit platform aangeboden met een handleiding en instructievideo, en is gratis te gebruiken. De handleiding kan ook gedownload worden van de website van Slim Landgebruik; [Praktijktool BodemCoolstof | Slim Landgebruik](#). De rekenkern van de praktijktool zal in 2022 ook in de KringloopWijzer worden ingebouwd binnen de PPS Verbeteren van de KringloopWijzer, zodat in 2023 bijna alle melkveehouders in Nederland inzicht krijgen in de bodemkoolstofbalans van hun bedrijf. Zodra de Cool Farm Tool Hub beschikbaar komt, zal er samen met BO Akkerbouw gekeken worden of de tool hieraan gekoppeld kan worden, zodat akkerbouwers naast de broeikasgas-footprint ook direct de bodemkoolstofbalans kunnen laten berekenen. De praktijktool BodemCoolstof (versie 1.0) zal de komende jaren verder uitgerold en verbeterd worden. Er zal aandacht zijn voor het verbeteren van het gebruiksgemak en het verbeteren van met name de koolstofaanvoer berekeningen. Het laagdrempelig beschikbaar stellen van de praktijktool BodemCoolstof biedt boeren de mogelijkheid om koolstofmanagement als onderdeel in de bedrijfsvoering mee te nemen en op deze manier bij te dragen aan de klimaatopgave.

# 1 Introductie

## 1.1 Belang

Om toe te werken naar een klimaatneutrale landbouwsector in 2050, speelt de klimaatdoelstelling om 0,5 Mton CO<sub>2</sub> extra vastlegging per jaar in minerale landbouwbodems te realiseren vanaf 2030 een belangrijke rol. De Nederlandse minerale landbouwbodem heeft de potentie om extra CO<sub>2</sub> vast te leggen (Lesschen et al., 2021), maar de potentie van een bedrijf en de keuze voor het opnemen van koolstofmaatregelen in het bedrijfsplan kunnen verschillen. Daarom is het belangrijk om boeren inzicht te geven in het effect dat verschillende koolstofmaatregelen op perceels- en bedrijfsniveau kunnen hebben op het behoud en de opbouw van organische stof in de bodem. Uit interviews en gesprekken met de sector is namelijk gebleken dat zowel bij akkerbouwers als bij veehouders dit inzicht momenteel vaak ontbreekt. De praktijktool BodemCoolstof biedt dit inzicht, waardoor het inpassen van koolstofmaatregelen in de bedrijfsvoering gestimuleerd wordt.

## 1.2 Doel

Het doel van dit project is om een praktijktool te ontwikkelen, te documenteren en te testen samen met de praktijk. De tool moet inzicht geven in: (1) de verandering in het bodemkoolstofgehalte over de tijd, (2) de jaarlijkse koolstofbalans en CO<sub>2</sub> vastlegging op perceels- en bedrijfsniveau, en (3) de hoeveelheid en typen koolstof die aangevoerd en afgebroken worden. Deze drie aspecten moeten voor zowel huidig koolstofmanagement als voor verschillende koolstofmanagementscenario's inzichtelijk gemaakt worden.

## 1.3 Achtergrond

In 2019 is er een verkenning gedaan naar koolstofmodellen die potentieel als praktijktool zouden kunnen fungeren (Lesschen et al., 2020a). Hieruit kwam naar voren dat er drie modellen geschikt zouden kunnen zijn als praktijktool; RothC, NDICEA en CCB. Uiteindelijk is er gekozen om de rekenkern van de praktijktool te baseren op het RothC model (Coleman en Jenkinson, 2014). Dit omdat het, t.o.v. de andere twee modellen, weinig en vaak beschikbare invoergegevens nodig heeft, een broncode heeft die makkelijk aan te passen is, en kan rekenen met grote datasets (veel percelen) over lange-termijn. Daarnaast wordt het RothC model ook gebruikt voor de nationale en Europese monitoring van veranderingen in de bodemkoolstofvoorraad van minerale landbouwbodem. In de doorrekening van enkele lange-termijn experimenten laat het RothC model vergelijkbare resultaten zien als de andere twee modellen (Lesschen et al., 2020a).

Extra koolstof kan in de bodem vastgelegd worden door de afbraak van organisch materiaal in de bodem te beperken, of door een netto aanvoer van organische stof van binnen of buiten het eigen bedrijf. Er zijn verschillende maatregelen die CO<sub>2</sub>-vastlegging in de bodem kunnen bevorderen (Lesschen et al., 2021). Op nationaal niveau hebben op zandgronden de maatregelen 'Meer blijvend grasland' (224 kt CO<sub>2</sub>/jaar) en 'Wisselteelt mais-gras (60-20-20)' (112 kt CO<sub>2</sub>/jaar) het grootste effect, en voor kleigronden zijn dit de maatregelen 'Groenbemester/vanggewas' (128 kt CO<sub>2</sub>/jaar) en 'Verbeteren gewasrotatie' (113 kt CO<sub>2</sub>/jaar). Alle maatregelen tezamen wordt de technische potentie voor CO<sub>2</sub> vastlegging in minerale landbouwbodems geschat op 0,9 Mton CO<sub>2</sub> per jaar. Of deze doelstelling gehaald wordt, hangt af van de implementatiegraad van maatregelen. Daarom is het belangrijk hierin te faciliteren middels een praktijktool. Een overzicht van de potentiële CO<sub>2</sub>-vastlegging van beschikbare maatregelen op nationaal niveau, de (on)zekerheid hierin, de mogelijke N<sub>2</sub>O reductie, het effect van deze maatregelen op bodemfuncties, en de kosten/baten van elke maatregel staan in de CO<sub>2</sub>Bodem tabel (Slier et al., 2021).

Voor een positieve koolstofbalans moet er een netto aanvoer van organische stof zijn. Tussen de aanvoerstromen van organische stof (organische mestproducten, gewasresten, compost en groenbemesters) zitten groten verschillen in de samenstelling (Van Groenigen en Zwart, 2007). De

organische stof die één jaar na toediening nog onderscheidenlijk in de bodem aanwezig is, wordt ook wel effectief organische stof (EOS) genoemd (Kortleven, 1963). Een netto aanvoer van organische stof zal eerder bereikt worden als er veel gewasresten zijn of meststoffen toegediend worden met een hoog EOS gehalte, zoals vaste mest. Er zijn tabellen opgesteld in het Handboek Bodem en Bemesting die weergeven hoeveel EOS verschillende organische meststoffen, groenbemesters, gewasresten en compost bevatten (CBAV, 2017). Deze zogeheten kengetallen zijn voor een deel recent geactualiseerd (Selin-Norén et al., 2021; Hanegraaf et al., 2021).

Echter, de potentie voor koolstofvastlegging verschilt per bedrijfstype en per locatie. Voor sommige landbouwgronden zal het moeilijk zijn om een positieve koolstofbalans te bereiken. De bodems hebben bijv. van nature of door antropogene mesttoediening in het verleden (bijv. enkeerdgronden), hoge organische stof gehalten. Dit in combinatie met het bodemtype (e.g., klei of zand), kan de potentie voor koolstofvastlegging sterk beïnvloeden. Voor de certificering van CO<sub>2</sub>-emissiereductie wordt dan ook het vastleggen van CO<sub>2</sub> als het vasthouden van koolstof in de bodem gewaardeerd door de Stichting Nationale Koolstofmarkt.

De tool sluit in de methodiek en output aan bij de monitoring van de effectiviteit van de maatregelen richting de nationale doelstelling. Verder is een prototype van de tool getest door o.a. de bedrijven die aangesloten zijn bij de praktijknetwerken Akkerbouw en Veehouderij en enkele bedrijven die aangesloten zijn bij het BedrijvenNetWerk (BNW) van de Publiek Private Samenwerking Beter Bodembeheer (PPS BBB) (Hoofdstuk 2). Hieruit is vervolgens de praktijktool BodemCoolstof ontwikkeld (Hoofdstuk 3). In dit hoofdstuk staat de technische beschrijving van het rekenmodel. De tool is uitgebreid getest met boeren, adviseurs en accountants (Hoofdstuk 4), waarna het online beschikbaar is gekomen op het platform FarmMaps ([www.farmmaps.eu](http://www.farmmaps.eu)). In Hoofdstuk 5 wordt ingegaan op het vergroten van de zichtbaarheid en het gebruik van de tool en in Hoofdstuk 6 wordt de tool in een breder kader geplaatst door het te vergelijken met andere koolstoftools en worden kennishiaten en verbeterpunten bediscussieerd.

## 2 Behoeftte vanuit de praktijk

Er zijn met de sector gesprekken gevoerd en interviews afgenomen om te toetsen welke (koolstof)tools er momenteel gebruikt worden om inzicht te krijgen in de bodemkoolstofbalans, en in welke koolstof-gerelateerde kennisvelden de sector (nog meer) inzicht behoeft (Bijlage A). Vanuit Netwerk Veehouderij, Netwerk Akkerbouw, en de PPS Beter Bodembeheer hebben we met meer dan dertig ondernemers uit zowel de akkerbouw als de veehouderij gesproken. De ondernemers kwamen uit verschillende regio's in Nederland, waardoor er een representatief beeld gevormd kon worden. Eerder waren er ook al gesprekken geweest met melkveehouders uit het TKI project 'Belang van vastlegging koolstof in de bodem voor mitigatie broeikasgassen' (Lesschen et al., 2020b). De uitkomsten van deze gesprekken tezamen geven een representatief beeld waaraan een praktijktool moet voldoen.

Uit de gesprekken en interviews kwam naar voren dat er verschillende bronnen gebruikt worden om inzicht te krijgen in de koolstofbalans (bijv. Eurofins door akkerbouwers en de Kringloopwijzer door veehouders). In 80% van de gesprekken werd aangegeven dat er behoefte is aan een tool die inzicht geeft in de koolstofbalans en/of inzicht geeft in de effecten van koolstofmaatregelen op de koolstofbalans. De nadruk bij akkerbouwers ligt op het doorrekenen van effecten rondom bouwplanaanpassingen, en bij veehouders ligt de nadruk op het doorrekenen van effecten rondom het type en de hoeveelheid mest die toegediend wordt. Akkerbouwers die de koolstofbalans al eens hebben laten berekenen weten vaak niet welke stappen ze daarna moeten nemen om een positieve(re) koolstofbalans te krijgen. Beschikbare koolstofmodellen worden als complex en tijdrovend ervaren, omdat er veel invoergegevens gevraagd worden.

Gebruiksvriendelijkheid is dus erg belangrijk om het bereik van de tool te vergroten. De meerderheid van de geïnterviewde ondernemers gaf aan dat de gebruiksvriendelijkheid vergroot kan worden door de tool te koppelen aan al bestaande bedrijfsmanagement systemen zoals DACOM, AgroVision, Mestbalans CRV, CROP, en Kringloopwijzer. Over het belang van een koppeling met de Kringloopwijzer waren veehouders het vrijwel unaniem eens.

Er werd tijdens de interviews ook gevraagd of het uitbreiden van de tool (bijv. met N, P, K fluxen) meerwaarde zou opleveren. Hierop werd geantwoord dat het uitbreiden van de tool met bodemchemische, -fysische en -biologische processen van meerwaarde zou zijn. De meningen over hoe deze koppeling eruit moet komen te zien liepen sterk uiteen. Momenteel is de tool nog niet uitgebreid, maar deze antwoorden kunnen wel aanleiding geven tot het verder onderzoeken naar de algehele behoeften naar koppelingen. Naast deze processen, werden ook uitbreidingen met potentiële gewasopbrengst, het wettelijke kader rondom bemesting, gewassamenstelling, gewasweerbaarheid, verteerbaarheid van gras, en weidevogels genoemd. Het uitbreiden van de tool met een kosten-batenanalyse werd slechts door weinig personen als een meerwaarde ervaren.

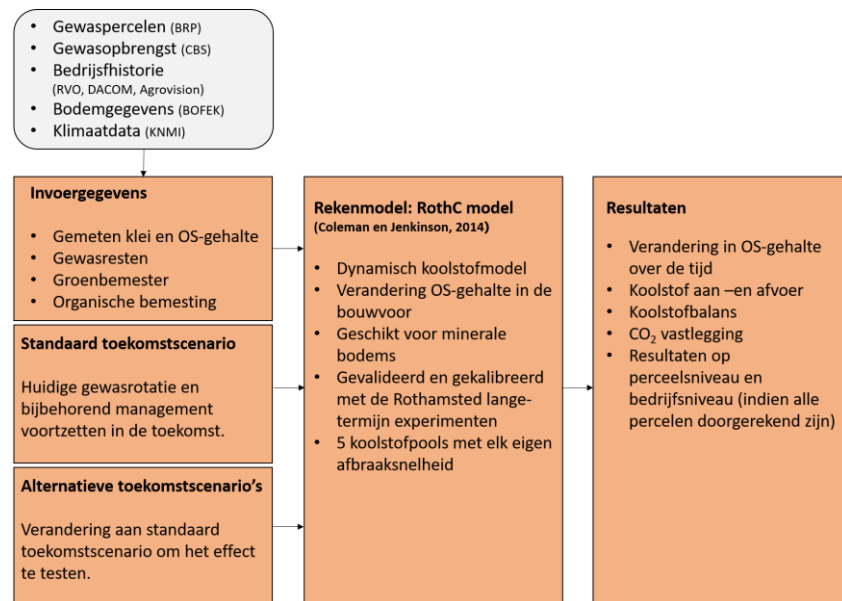
Een meerderheid van de ondervraagden gaf aan de resultaten graag op perceels- en bedrijfsniveau te willen zien. Ondernemers vinden het ook belangrijk om de verandering in het koolstofgehalte over de tijd te zien, zodat ze weten hoe de situatie zich kan ontwikkelen op de langere termijn. De tijdsspanne waarover inzicht gewenst is, verschilt van één gewasrotatie tot 20 jaar.



## 3 Praktijktool

### 3.1 Conceptueel model

Er is een conceptueel model ontwikkeld op basis van de inzichten die zijn verkregen uit de interviews en gesprekken met de sector (Fig.1). Het conceptueel model kan opgedeeld worden in drie secties: 1) het invoeren van bedrijfsspecifieke gegevens, 2) het rekenmodel en 3) de resultaten. Elke sectie wordt in detail toegelicht.



**Figuur 1.** Conceptueel model van de Praktijktool BodemCoolstof bestaat uit: 1) het invoeren van bedrijfsspecifieke gegevens en het aanmaken van een standaard toekomstscenario en alternatieve scenario's, 2) het rekenmodel, en 3) de resultaten.

### 3.2 Invoeren gewas- en managementgegevens

#### 3.2.1 Gewas- en managementhistorie invoeren

Om de gebruiksvriendelijkheid van de tool te bevorderen, worden zoveel mogelijk invoergegevens gekoppeld aan al bestaande initiatieven. Gewaspercelen kunnen automatisch ingeladen worden vanuit de Basisregistratie Percelen (BRP) evenals gewashistorie die vanuit de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), DACOM of Agrovision ingeladen kunnen worden. Gemiddelde gewasopbrengsten per provincie zijn beschikbaar uit data uit het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS, 2022). Omdat de gewasopbrengsten bedrijfsspecifiek zijn, kunnen deze gegevens altijd aangepast worden als de gebruiker betere data ter beschikking heeft. Bodemgegevens (bodemtype, kleigehalte en organische stof (OS) gehalte) zijn afkomstig van Bodemfysische Eenhedenkaart (BOFEK2020) (Heinen et al., 2021). De bodemgegevens uit BOFEK2020 zijn niet geschikt om te gebruiken op perceelsniveau, maar door gebrek aan betere data worden deze data momenteel gekoppeld aan de tool. Waarschijnlijk komt er in 2022 een directe koppeling tussen Eurofins en FarmMaps, waardoor bodemanalyses direct gekoppeld kunnen worden aan de tool. Verder is het doel om algemene databronnen zoals CBS te vervangen door bedrijfsspecifieke databases zoals AgroVision. Dit zal de nauwkeurigheid van de berekeningen bevorderen.

Naast de gegevens die automatisch gekoppeld worden, moet een gebruiker nog enkele gegevens zelf invoeren. Zo wordt er gevraagd om gemeten klei -en bodem organische stof gehaltes in te voeren. Het jaar waarin deze metingen zijn verricht is essentieel, omdat dit als startpunt van de berekening geldt. Een gebruiker kan ook meerdere metingen invoeren, en niet alleen het meest recente. Het voordeel hiervan is dat de gebruiker dan de mogelijkheid heeft om zijn gedane management uit het verleden ook te evalueren.

Naast deze bodemgegevens, zijn er ook enkele managementgegevens nodig. Het bodemorganische stofgehalte kan namelijk ook verhoogd worden door het onderwerken van gewasresten, het zaaien van groenbemesters na de oogst, en het toedienen van organische meststof. Om de koolstofaanvoer uit gewasresten te bepalen aan de hand van het versgewicht, worden omrekentabellen gebruikt (Bijlage B). De C input van gewasresten worden voor strogewassen berekend volgens de methode van Garcia-Condado (2019) (Bijlage B). De hoeveelheid bovengronds stro (in kg droge stof/ha) wordt berekend door [For.1].

$$Gewasresten_{bovengronds} = \left( \frac{gewasopbrengst}{Harvest\ Index} \right) - gewasopbrengst \quad [1]$$

Waarbij de HarvestIndex de ratio tussen het geoogste gewas en de totale gewasbiomassa is. De bovengrondse gewasresten kunnen worden onderverdeeld in stro en stoppel. De ratio stro en stoppel wordt geschat op 55:45. Ondergrondse koolstofinput van strogewassen wordt berekend aan de hand van Taghizadeh-Toosi et al. (2014) [For.2].

$$Gewasresten_{ondergronds} = \frac{(Gewasopbrengst + (stoppel + stro) * DS) * CB}{\left( \frac{1}{FracC} \right) - 1} \quad [2]$$

Waarbij *DS* het droge stof gehalte van de gewasresten (in kg/ha), *CB* de koolstofbiomassa van 0.45, en *FracC* de fractie ondergrondse C input van 0.25 is (Kuzyakov and Domanski, 2000). Het droge stof gehalte van de gewasresten is gebaseerd op Scarlat et al. (2010) en heeft een fractie 0.7 voor korrelmais en corn cob mix, 0.6 voor zonnebloem en raapzaad, en 0.85 voor andere strogewassen. Voor alle andere gewassen geldt een vaste waarde voor de hoeveelheid C input van gewasresten (Bijlage B).

### 3.2.2 Standaard toekomstscenario ontwikkelen

Na het invoeren van alle perceelgegevens, wordt een gebruiker gevraagd om een standaardrotatie voor de toekomst op te geven. Deze gewassen met bijbehorend management worden dan automatisch naar het standaard toekomstscenario gekopieerd. De rotatie kan vervolgens gekopieerd worden t/m 2050, maar kortere scenario-doorrekeningen zijn ook mogelijk. Op deze manier kan getest worden hoe het organische stofgehalte veranderd over de tijd als het huidig management voortgezet wordt. Voor de toekomstscenario's worden momenteel nog geen weerscenario's meegenomen, maar een gemiddeld weerjaar van de afgelopen 30 jaar (1988 – 2018). Hiervoor is het weerjaar 2012 genomen. Uit analyses is gebleken dat het nemen van een gemiddeld weerjaar nauwkeurig is dan het gemiddelde weer over de afgelopen 30 jaar.

### 3.2.3 Koolstofmaatregelen testen in alternatieve toekomstscenario's

De tool biedt ook de mogelijkheid om het standaard toekomstscenario te kopiëren (tot max. 4 keer) en aan te passen naar alternatieve toekomstscenario's. Hierdoor kunnen verschillende koolstofmaatregelen naast elkaar vergeleken worden. De volgende maatregelen kunnen hierbij getest worden:

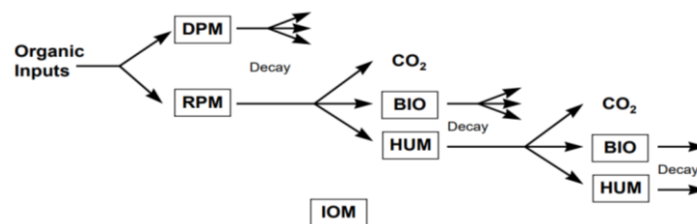
- De gewasrotatie kan verbeterd worden door meer rustgewassen, zoals graan, toe te voegen aan de standaard rotatie.
- Extra aanvoer van vaste mest of compost kan ingevoerd worden door het type mest en de hoeveelheid organische meststoffen te veranderen.
- Het zaaien van een groenbemester/vanggewas na de oogst kan toegevoegd worden. De groenbemesteropbrengst is afhankelijk van het type groenbemester dat gezaaid wordt en de groeiduur van de groenbemester.
- Het achterlaten van de gewasresten van strogewassen in plaats van het af te voeren, kan in de tool aangevinkt worden.
- De gewasproductie kan verhoogd worden door nieuwe technieken toe te passen (bijv. precisielandbouw). Deze verhoogde gewasproductie leidt tot een verhoogde biomassa productie.
- Voor grondgebonden veehouderijen kan meer blijvend grasland, het verhogen van de leeftijd van het grasland, en wisselteelt mais-gras (60% blijvend grasland, 20% tijdelijk grasland, 20% mais; Van Eekeren, 2020) doorgerekend worden. Momenteel maakt de tool onderscheid tussen tijdelijk grasland (≤5 jaar) en blijvend grasland (> 5 jaar). De leeftijd van het grasland verhogen kan doorgerekend worden, maar deze maatregel wordt momenteel herzien en verbeterd. Uit onderzoek

is namelijk gebleken dat de biomassa van gras toeneemt met elk jaar dat gras langer op het land blijft staan. Met deze opbouwende aanvoer van koolstof wordt in de tool momenteel nog geen rekening gehouden.

Om de maatregelen vogelakkers, akkerranden, en snijmais met strokenfrees door te rekenen, zou het perceel opgedeeld moeten worden in sub-percelen. Momenteel zijn deze maatregelen daardoor nog niet met de tool door te rekenen. De maatregelen niet-kerende grondbewerking, kruidenrijk grasland, en diep wortelende gewassen kunnen momenteel nog niet doorgerekend worden omdat het effect van deze maatregelen op de koolstofopbouw in de bodem nog onvoldoende onderbouwd kan worden (Schepens et al., 2022). Daarnaast is grondbewerking geen onderdeel van het RothC model, waardoor het indirect (bijv. door het veranderen van de afbraaksnelheid) doorgerekend zou moeten worden. Dit brengt extra onzekerheden met zich mee. Als het effect van deze maatregelen wel aangetoond kan worden voor Nederlandse klei- en/of zandgronden, omdat er bijvoorbeeld meer data beschikbaar komen, dan zullen deze maatregelen ook ingebouwd worden in de tool.

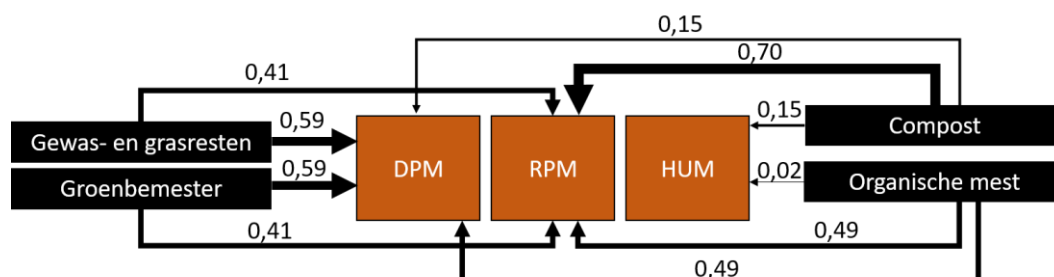
### 3.3 Rekenmodel

Het rekenmodel van de praktijktool is gebaseerd op het RothC model (Coleman en Jenkinson, 2014). Dit dynamische procesmodel berekent de jaarlijkse koolstofafbraak in minerale bodems. Het model rekent met vijf koolstofpools met elk een eigen afbraaksnelheid; Decomposable Plant Material (DPM), Resistant Plant Material (RPM), Microbial Biomass (BIO), Humified Organic Matter (HUM), and Inert Organic Matter (IOM) (Fig.2). De afbraaksnelheid is afhankelijk van het bodemvocht, temperatuur, bodembedekking en het type en de hoeveelheid koolstofaanvoer.



**Figuur 2.** De structuur van de afbraak van organisch materiaal in het RothC model. De vijf koolstofpools zijn: RPM: Resistant Plant Material, DPM: Decomposable Plant Material, BIO: Microbial Biomass, HUM: Humified Organic Matter, en IOM: Inert Organic Matter.

De praktijktool BodemCoolstof onderscheidt vier typen koolstofaanvoer: gewas -en grasresten, groenbemester, compost en organische mest. Figuur 3 schetst in welke pools koolstofaanvoeren terecht komen en hoe deze verdeeld worden over de pools.



**Figuur 3.** Organische stof aanvoer en hoe deze verschillende aanvoeren over drie van de vijf koolstofpools worden verdeeld. DPM: Decomposable Plant Material, RPM: Resistant Plant Material, HUM: Humified Organic Matter.

Volgens Coleman en Jenkinson (2014) vindt koolstofafbraak exponentieel plaats en wordt dit beïnvloed door de factoren temperatuur ( $a$ ), het vochtgehalte ( $v$ ) en de vegetatiebedekking ( $b$ ). De invloed van temperatuur op de afbraaksnelheid ( $a$ ) wordt bepaald aan de hand van [For.3].

$$a = \frac{47,9}{1 + e^{\left(\frac{106}{T+18,3}\right)}} \quad [3]$$

Waarbij  $T$  de temperatuur is (in °C).

Voor elk gewas is het groeiseizoen bepaald. Er wordt aangenomen dat in deze maanden de bodem bedekt is (Bijlage C). Voor de maanden dat de bodem bedekt is met een gewas, wordt er een bedekkingsfactor ( $b$ ) van 0,6 aangehouden om het effect van bodembedekking op de afbraaksnelheid mee te nemen in de modelberekening. Voor de andere maanden wordt de factor 1,0 aangehouden. Het zaaïen van groenbemesters na de oogst, waardoor de bodem weer bedekt is met vegetatie, wordt nog niet meegenomen in de tool.

Voor het bepalen van de invloed van vochtgehalte op de afbraaksnelheid wordt het maximale vochttekort ( $Vochttekort_{max}$ ) over een jaar berekend [For.4]. In deze formule wordt echter uitgegaan van een situatie waarbij er vegetatie op het land groeit. Is dit niet het geval, dan wordt  $Vochttekort_{max}$  gedeeld door 1,8 (Farina et al., 2013) om te corrigeren voor de gereduceerde evapotranspiratie van braak liggende grond.

$$Vochttekort_{max} = -(20 + (1,3 * klei) - (0,01 * klei^2)) * \left(\frac{bodemdiepte}{23}\right) \quad [4]$$

Waarbij  $klei$  het kleigehalte is (in %), en  $bodemdiepte$  de diepte waarop het bodemmonster is genomen (in cm). In Nederland worden in de akkerbouw bodemmonsters standaard op 25 cm diepte genomen, maar onder grasland worden de monsters vaak op 10 cm diepte genomen. Het RothC model is gekalibreerd en gevalideerd op 23 cm diepte. In de tool wordt het organische stof gehalte gecorrigeerd voor de bodemdiepte waarop het bodemmonster geanalyseerd is, zodat voor zowel akkerland als grasland de koolstofafbraak over de bouwvoor (0 – 25 cm diepte) berekend wordt. Voor tijdelijk grasland dat op 10 cm diepte bemonsterd is, wordt het organische stof gehalte gecorrigeerd met een factor 0,97. Dit grasland wordt nog regelmatig geploegd, waardoor het homogener is dan natuurlijk of permanent grasland en daarom is de correctiefactor minimaal. Voor natuurlijk en permanent grasland wordt gecorrigeerd met een factor 0,67 voor kleigrond en 0,81 voor zandgrond (Lesschen et al., 2020b).

Per maand wordt berekend of er bodemvochttekort optreedt, d.w.z. dat de hoeveelheid evapotranspiratie hoger is dan de hoeveelheid regenval. Zodra dit het geval is, zal er voor de volgende maanden een accumulatief bodemvochttekort ( $Vochttekort_{acc}$ ) bepaald worden waarbij het tekort van de voorgaande maanden opgeteld wordt bij het tekort van te berekenen maand. Als het accumulatieve bodemvochttekort groter is dan 0,444, dan wordt de invloed van bodemvochtgehalte op de afbraaksnelheid bepaald via [For.5], en anders is deze factor 1. De actuele verdamping van openwater wordt bepaald door de Makkink (1957) referentie verdamping met 1,25 te vermenigvuldigen (STOWA, 2009).

$$v = 0,2 + 0,8 * \frac{(Vochttekort_{max} - Vochttekort_{acc})}{(Vochttekort_{max} - 0,444 * Vochttekort_{max})} \quad [5]$$

Waarbij  $v$  de vochtfactor is. Om de koolstofvoorraad ( $SOC_{ini}$ ) in de bodem te berekenen in het eerste jaar, wordt de bulkdichtheid ( $BD$ ) van de bodem (in kg/m<sup>3</sup>) vermenigvuldigd met het (gecorrigeerde) organische stof gehalte (in %) en de bodemdiepte (in cm). Om de bodemorganische stof voorraad in de bovengrond om te zetten naar een koolstofvoorraad, wordt er vermenigvuldigd met 0,54, de voor Nederland gemiddelde C/OS ratio (Tol-Leenders et al., 2019). De  $BD$  van de minerale kleibodems wordt berekend op basis van Wösten (2001) [For.6], zandbodems worden berekend op basis van Hoekstra en Poelman (1982) [For.7].

$$BD_{klei} = \frac{1}{0,6117 + (0,003601 * klei) + (0,002172 * OS^2) + 0,01715 * \log(OS)} \quad [6]$$

$$BD_{zand} = \frac{1}{0,667 + (0,021 * OS)} \quad [7]$$

Met het *klei* en (gecorrigeerde) organische stof (*OS*) gehalte in %.

Koolstof breekt in elke koolstofpool af met  $1 - e^{-(a*b*v*k)}$ . Hierin is *k* een standaard afbraakconstante, namelijk  $k_{DPM} = 10$ ,  $k_{RPM} = 0,3$ ,  $k_{BIO} = 0,66$  en  $k_{HUM} = 0,02$ . De koolstofvoorraad wordt als volgt over de vijf koolstofpools verdeeld [For.8-13].

$$DPM_{ini} = \left( \frac{DPM_{in}}{\frac{1}{12} * a * b * v} \right) * k_{DPM}^{-1} \quad [8]$$

$$RPM_{ini} = \left( \frac{RPM_{in}}{\frac{1}{12} * a * b * v} \right) * k_{RPM}^{-1} \quad [9]$$

$$IOM_{ini} = 0,049 * SOC_{ini}^{1,139} \quad [10]$$

$$BIO + HUM_{ini} = SOC_{ini} - (DPM_{ini} + RPM_{ini} + IOM_{ini}) \quad [11]$$

$$BIO_{ini} = \frac{BIO + HUM_{ini}}{1 + 0,66/0,02} \quad [12]$$

$$HUM_{ini} = \frac{BIO + HUM_{ini}}{1 + 0,02/0,66} \quad [13]$$

Afgebroken RPM wordt omgezet in CO<sub>2</sub>, BIO en HUM. De ratio CO<sub>2</sub>:BIO+HUM, wordt berekend aan de hand van [For.14].

$$Ratio_{CO_2:BIO+HUM} = 1,67 * (1,85 + 1,60 * e^{(-0,0786 * klei)}) \quad [14]$$

Hieruit kan de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die jaarlijks atmosferisch verloren gaat berekend worden, en van de hoeveelheid BIO en HUM, gaat er 46% naar de BIO en 54% naar de HUM pool.

De koolstofbalans wordt berekend door de initiële bodemkoolstofvoorraad af te trekken van de nieuwe bodemkoolstofvoorraad. Een positieve balans (in t C/ha/jaar) wijst op een netto koolstofopbouw, en een negatieve balans wijst op een netto koolstofafbraak. Door de koolstofbalans te vermenigvuldigen met een factor 3,7 (molaire massa CO<sub>2</sub>/ molaire massa C), wordt de CO<sub>2</sub> vastlegging (in t CO<sub>2</sub>/ha/jaar) bepaald. Door over een langere tijdsperiode de gemiddelde koolstofbalans en CO<sub>2</sub> vastlegging te bepalen, kan er een positieve of negatieve trend worden waargenomen, onder de aanname dat de bulkdichtheid niet verandert.

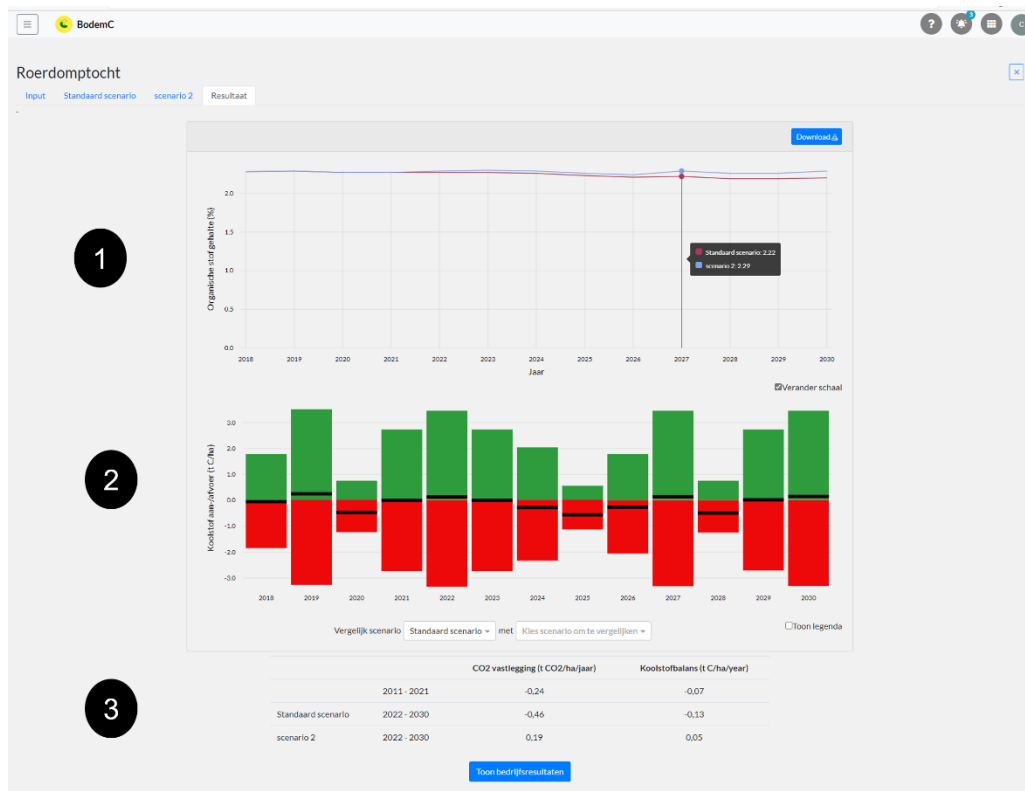
### 3.4 Resultaten

De resultaten kunnen worden weergegeven op perceels -en bedrijfsniveau. De opschaling naar bedrijfsniveau gebeurt middels gewogen gemiddelden van uitkomsten en arealen. De tijdsspanne waarover het model berekeningen kan uitvoeren varieert tussen 2011 en 2050. Alleen jaren waarvoor alle percelen data hebben worden meegenomen bij het berekenen van de bedrijfsresultaten. De resultaten kunnen opgedeeld worden in drie elementen (zie voorbeeld in Figuur 4).

1. De verandering van het organische stof gehalte in de bouwvoor (0-25 cm) over de tijd voor verleden jaren, het standaard toekomstscenario en alternatieve scenario's. Het model rekent vanaf het jaar waarin het bodemonmonster genomen en ingevoerd is. Veranderingen in het organische stof gehalte in de bodem gaan langzaam en daarom is inzicht in het lange-termijn effect wenselijk.
2. De koolstofbalans en de koolstofaanvoer en afbraak per jaar. Bij dit resultaat kan het standaard toekomstscenario ook vergeleken worden met alternatieve scenario's (niet opgenomen in Fig. 4).

3. Een overzicht van de gemiddelde koolstofbalans en CO<sub>2</sub> vastlegging over afgelopen jaren, voor het standaard toekomstscenario en voor alternatieve toekomstscenario's worden ook weergegeven in een tabel.

De invoergegevens en resultaten kunnen gedownload worden, maar de figuren niet. Dit kan per perceel, maar ook voor het gehele bedrijf in een keer (inclusief de scenario's).



**Figuur 4.** Voorbeeld van hoe de resultaten getoond worden in de praktijktool.

### 3.5 Gevoeligheid en onzekerheid rekenmodel

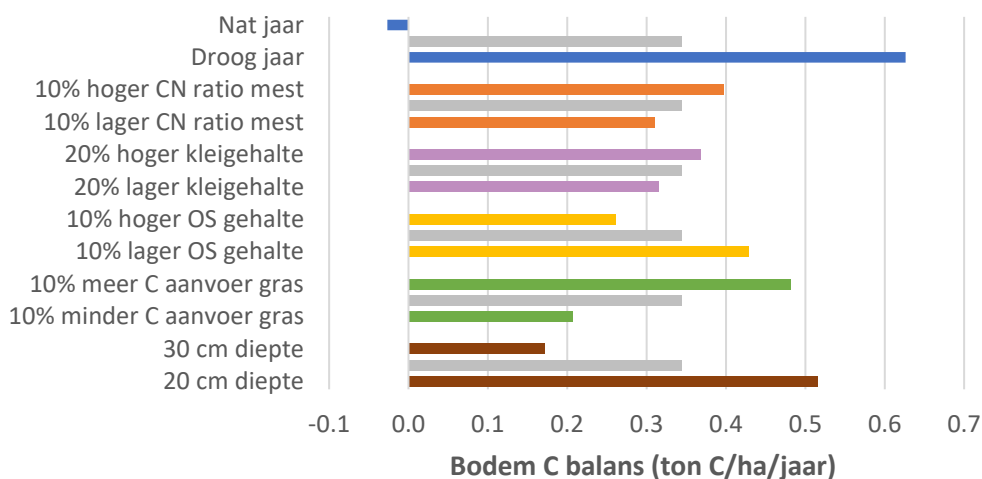
Onzekerheden in de resultaten kunnen voorkomen in de invoergegevens, omrekeningstabellen, modelparameters, en modelaannames. Een gevoeligheidsanalyse van het rekenmodel, gebaseerd op de resultaten van 37 melkveebedrijven, laat zien dat het model het meest gevoelig is voor: 1) de beschikbaarheid van vocht, 2) de bodemdiepte waarover de organische stof wordt berekend, en 3) de aanvoer van gewasresten (Fig.5) (Lesschen et al., 2020b). Niet bekend is of dit ook geldt voor de akkerbouwsituatie met eigen specifieke kenmerken (rotatie, organische bemesting, bodembewerking). Het is belangrijk dat invoergegevens met betrekking tot genoemde parameters accuraat zijn.

De beschikbaarheid van vocht wordt bepaald aan de hand van lokale KNMI-weersgegevens. Voor het berekenen van toekomstscenario's wordt het gemiddelde weerjaar 2012 genomen. Het berekenen van weersscenario's, het kunnen selecteren van een extreem droog of nat jaar, of het selecteren van een jaar dat gemiddelde weersomstandigheden tijdens het groeiseizoen weergeeft in plaats van een volledig jaar, kan de modelbenaderingen verbeteren.

Het RothC model is gekalibreerd op een bodemdiepte van 23cm. Het rekenmodel gebruikt een correctiefactor om de modelresultaten over de bouwvoor (0-25 cm) te berekenen. Voor grasland, dat vaak op 10 cm bemonsterd wordt, gelden andere correctiefactoren, afhankelijk van het type grasland en het bodemtype. De aanvoer van gewasresten wordt berekend aan de hand van een vaste waarde. Alleen voor strogewassen is de aanvoer afhankelijk van gewasopbrengst. Garcia-Condado (2019) laat zien dat er voor

sommige niet-stro gewassen geen relatie is tussen gewasopbrengst en de hoeveelheid gewasresten. Voor de gewassen die afhankelijk zijn van de gewasopbrengst is het belangrijk dat deze invoergegevens accuraat zijn. Momenteel maakt het rekenmodel gebruik van de regionale CBS data om gewasopbrengsten in te schatten. Een gebruiker kan deze gegevens wijzigen als er betere gegevens beschikbaar zijn. Het automatisch inladen van bedrijfsgegevens vanuit andere platforms kan de resultaten verbeteren en het gebruiksgemak van de tool verhogen. In de tool is de koolstofaanvoer vanuit groenbemesters afhankelijk van het type en de groeiperiode van de groenbemester. De groei en uiteindelijke biomassa van een groenbemester kan erg variabel zijn en wordt niet of nauwelijks gemeten (Koopmans et al., 2020). Vooral in de aanvoer van koolstof uit groenbemestermengsels bestaat nog onzekerheid (Selin Norén et al., 2021).

De samenstelling van organische meststoffen en compost wordt in de tool momenteel gebaseerd op de kengetallen uit het Handboek Bodem en Bemesting (CBAV, 2017) die gedeeltelijk herzien zijn in 2019 (Hanegraaf et al., 2019). Echter, de samenstelling van organische meststoffen en compost kan per mesttype sterk variëren. Bij de analyses van mestmonsters wordt momenteel niet standaard het C-gehalte bepaald waardoor het nog niet mogelijk is de koolstofaanvoer uit organische bemesting te verbeteren. Het N-gehalte wordt wel bepaald. De inschatting van de hoeveelheid koolstofaanvoer vanuit organische bemesting kan daarom verbeterd worden als de C:N-ratio in verschillende mesttypen een duidelijke relatie vertoont.



**Figuur 5.** Gevoeligheidsanalyse voor een aantal belangrijke modelparameters. De resultaten zijn gebaseerd op de gemiddelde bodem C-balans van 37 melkveebedrijven, de grijze staven (Lesschen et al., 2020b).

Het RothC model wordt wereldwijd toegepast op verschillende schaalniveaus. Het is dan ook uitgebreid gekalibreerd en gevalideerd met behulp van lange-termijn experimenten (Coleman and Jenkinson, 1996; Skjemstad et al., 2004; Zimmermann et al., 2007). Sterke correlaties tussen gemeten organische stof fracties en gemodelleerde koolstofpools zijn gevonden door o.a. Zimmermann et al. (2007) (0.82 voor DPM, 0.76 voor RPM, 0.99 voor HUM en BIO, en 0.73 voor IOM). Helaas zijn er in Nederland niet voldoende lange-termijn gegevens beschikbaar om het model voor de Nederlandse situatie te valideren. We nemen daarom aan dat de validatie die in buurlanden met hetzelfde klimaat en vergelijkbare bedrijfssystemen is uitgevoerd, ook voor de Nederlandse landbouwgrond toepasbaar is. Voor de initialisatie van het RothC model zijn verschillende methodes getest. Hieruit is gebleken dat een methode waarbij koolstofaanvoer meegenomen wordt tijdens het berekenen van een stabiele verdeling van het bodemkoolstof over de verschillende pools, resulteert in de kleinste foutmarge (Klump et al., 2017). Oorspronkelijk was het RothC model gemaakt voor akkerbouw, maar tegenwoordig is het ook geschikt voor grasland en zelfs bosbouw.



## 4 Testen tool door de praktijk

Om de praktijktool te testen zijn we langsgegaan bij verschillende potentiële gebruikers binnen de agrarische sector. Uit het eerdere interview met de praktijk bleek al dat de bereidheid voor het testen van de tool groot was. Uiteindelijk hebben we met tientallen melkveehouders en akkerbouwers uit verschillende regio's van Nederland gesproken. Daarnaast is er met veel verschillende agrarisch adviseurs en accountants gesproken. Onder deze groep vallen onder andere: AgriFirm, Van Tafel naar Kavel, ILVO, GreenDutch, Netwerk Akkerbouw, Climate Neutral Group, Nutriënten Management Instituut, AgroWeb, SoilHeroes, Van Iperen, LV Vlaanderen, Deloitte, Stichting Milieukeur, Stichting Nationale Koolstofmarkt, Stichting Proefboerderijen Noordelijke Akkerbouw, VabNet, en Het Groene Brein. Binnenkort zal ook contact gelegd worden met het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer.

De ondernemers, adviseurs en accountants zijn zelf aan de slag gegaan met de tool en ze hebben ons waardevolle feedback gegeven over het invullen van de invoergegevens, het testen van verschillende maatregelen en de weergave van en de informatie uit de resultaten. Een aantal van deze verbeterpunten zijn al verwerkt, maar sommige verbeterpunten zijn lastig uit te voeren, vereisen acties van FarmMaps, of vergen meer analyses of modelaanpassingen.

### 4.1 Invoergegevens invullen

#### 4.1.1 Feedback uit de praktijk

Het merendeel van de ondernemers was erg tevreden over gebruiksgemak van de tool. Het aanmaken van een boerderij met bijbehorende percelen werkte goed met behulp van de handleiding. De gebruikers konden zich echter niet altijd vinden in de automatisch ingeladen data. Met name bodemgegevens en gewasopbrengsten bleken vaak niet te kloppen met de waardes van de ondernemer, omdat deze gegevens momenteel gelinkt zijn aan nationale databronnen. Er kwamen suggesties om deze gegevens niet te koppelen aan CBS-data, maar aan de bedrijfsgegevens zoals deze bekend zijn bij RVO en Eurofins, en bij CropVision met betrekking tot mest. Ook uitgebreidere en duidelijkere lijsten voor gewassen, groenbemesters en mesttypen kwamen naar voren als verbeterpunt. Zo wordt staldierendrijfmest in de praktijk vaak varkensdrijfmest genoemd. Ook een kwaliteitsoordeel over de opkomst van groenbemesters werd door sommige gebruikers als lastig ervaren. De groeiduur van een groenbemester zou beter bij het begrip van een gebruiker aansluiten. Verder zou er bij het invoeren van het organische stofpercentage ook gevraagd moeten worden op welke bodemdiepte het bodemonmonster genomen is. Met het oog op de toekomst, was er bij een aantal gebruikers ook de vraag of klimaatscenario's mee genomen konden worden in de berekening. Het veranderen van weersinvloeden om te kijken hoe droge of natte jaren de balans beïnvloeden was een wens bij sommigen om ook met een veranderend klimaat aan de slag te kunnen gaan.

#### 4.1.2 Uitgevoerde acties

De praktijktool kent nu duidelijkere en uitgebreidere categorieën voor de gewassen, groenbemesters, en mesttypen. Ook is het kwaliteitsoordeel over de opkomst van een groenbemester vervangen door de groeiduur van een groenbemester. Verder gaan we ervan uit dat in de akkerbouw bodemonsters standaard gemeten worden op 25 cm diepte. Onder grasland is dit vaak 10 cm diepte. De diepte waarop het bodemonmonster genomen is (10 cm of 25 cm) kan aangegeven worden. In 2022 zal er door FarmMaps gekeken worden of koppelingen met andere platforms en Eurofins mogelijk is, zodat de automatisch ingevulde data beter overeenkomen met de perceelgegevens van de ondernemer. De uitbreiding van het model met klimaatscenario's vergt een uitgebreidere analyse. Gezien de gevoeligheid van het rekenmodel voor vocht, is dit een belangrijk punt om mee te nemen in de verdere ontwikkeling van de tool.

### 4.2 Testen van maatregelen

#### 4.2.1 Feedback uit de praktijk

Het bepalen van een standaard toekomstscenario bleek lastig voor sommige ondernemers. Er werd bijvoorbeeld aangegeven dat er geen standaard toekomstscenario gemaakt kan worden, omdat er per jaar



bekeken wordt welk gewas er geteeld wordt (bijv. in samenwerking met aangrenzende ondernemers), of dat een bouwplan gemaakt wordt op basis van alle bedrijfspercelen waardoor het lastig te vertalen is naar een enkel perceel over de tijd. Een verbeterpunt dat genoemd werd was het kopiëren van slechts één gewasrotatie naar het toekomstscenario, zodat dit vervolgens een aantal keren doorgerekend kan worden (tot 2050). Op deze manier kost het aanmaken van een alternatief scenario weinig tijd.

Het kunnen testen van verschillende maatregelen werd als relevant ervaren bij de gebruikers, al zou het gewenst zijn om wat meer sturing te krijgen in de mogelijkheden van de tool om maatregelen door te rekenen. Een knop waarbij gewasresten op het land blijven, of een deel van de drijfmest vervangen wordt door compost of vaste mest zou gewaardeerd worden door een aantal gebruikers. Het kunnen toevoegen, verwijderen, of verplaatsen van de gewassen in de gewasrotatie werd ook aangehaald als verbeterpunt. Een aantal gebruikers viel het op dat bodembewerking niet wordt meegenomen in de tool, terwijl hier wel op gestuurd wordt in verschillende actieprogramma's en projecten. Er werd ook opgemerkt dat de tool momenteel nog geen rekening houdt met de maximale gebruiksnorm, waardoor er onrealistische scenario's gemaakt kunnen worden.

In plaats van toekomstscenario's te ontwikkelen, zou er ook voor gekozen kunnen worden om een koolstof-optimalisatie te berekenen of een gewenste gemiddelde koolstofbalans als doel te hanteren. Vanuit dit doel worden dan potentiële maatregelen gezocht waaruit een gebruiker kan kiezen. Zo werd er teruggekoppeld dat suggesties voor maatregelen met uitleg over de maatregel en de invloed van deze maatregelen op het bedrijfsproces van toegevoegde waarde zouden zijn.

#### 4.2.1 Uitgevoerde acties

Bij de scenario's kunnen er nu extra jaargegevens toegevoegd of verwijderd worden, of de jaargegevens kunnen verplaatst worden naar een ander jaar. Verder wordt er één gewasrotatie weergegeven in het toekomstscenario. Deze rotatie kan vervolgens een aantal keer of voor een aantal jaar (tot 2050) doorgerekend worden. Het beter faciliteren van de maatregelen die momenteel al door de tool doorgerekend kunnen worden, wordt meegenomen in de verdere ontwikkeling van de tool, evenals het begrenzen van de hoeveelheid organische mest die toegediend kan worden in verband met de maximale gebruiksnorm. Daarnaast zal een aantal nieuwe maatregelen, zoals het later scheuren van grasland, ook meegenomen worden in de verdere ontwikkeling van de tool. Het effect van bodembewerking op koolstofvastlegging heeft tot nu toe geen eenduidig en significant effect aangetoond (Koopmans et al., 2020). Daarnaast wordt bodembewerking niet in het RothC model meegenomen, en momenteel dus ook nog niet in de tool.

### 4.3 Resultaten – weergave en gewenste informatie

#### 4.3.1 Feedback uit de praktijk

De manier waarop resultaten weergegeven worden in de tool werd positief ontvangen. De verandering in het bodemorganische stof gehalte over de tijd voor de verschillende scenario's geeft direct inzicht in de potentiële trend. Gebruikers noemde het een goed instrument om de invloed van beter koolstofbeheer te leren begrijpen. In het figuur waar de verandering in het bodemorganische stof gehalte over de tijd wordt weergegeven, werd de mogelijkheid om in te zoomen op de uitkomsten ook als prettig ervaren. Op deze manier kan de jaarlijkse fluctuaties als ook de trend in relatief perspectief zichtbaar gemaakt worden.

Het staafdiagram waar de jaarlijkse koolstof toe- en afvoer wordt weergegeven samen met de balans, werd door gebruikers beschreven als een duidelijk overzicht van wat er per jaar gebeurt op een perceel en ook als goede indicator om gebreken of verbeterpunten op te sporen waar op gehandeld kan worden. Als elke kolom gekoppeld zou kunnen worden aan het gewas dat geteeld wordt, dan wordt nog duidelijker bij welke gewassen je veel of weinig aan- en afvoer van koolstof hebt. Behalve de jaarlijkse koolstofbalans, werd er ook gevraagd naar de gemiddelde koolstofbalans. Het kunnen vergelijken van het standaard toekomstscenario met een alternatief scenario werd ook inzichtelijk bevonden.

#### 4.3.2 Uitgevoerde acties

In het staafdiagram wordt nu aangegeven welk gewas er geteeld wordt bij desbetreffende koolstof aan- en afvoer.

Ook wordt de gemiddelde koolstofbalans en CO<sub>2</sub> vastlegging over verleden jaren, en toekomstige jaren bij gelijkblijvend management en alternatief management weergegeven in een tabel.

#### 4.4 Algemene opmerkingen

Naast het invullen van de data en het interpreteren van de resultaten waren er nog wat algemene opmerkingen. Extra knoppen of pop-ups die een gebruiker stap voor stap door de tool leidt, of die een gebruiker erop wijst dat data nog opgeslagen moet worden zou de gebruiksvriendelijkheid van de tool bevorderen. Ook kwamen er vragen over het opnemen van gepacht land als onderdeel van het bedrijf en wat te doen als een perceel elk jaar op een andere manier onderverdeeld wordt in sub-percelen. Deze feedback wordt meegenomen in de verdere ontwikkeling van FarmMaps.

Over het algemeen kwam ook naar voren dat adviseurs en enkele ondernemers de invoergegevens van meerdere plots of meerdere bedrijven tegelijk zouden willen kunnen invoeren en de resultaten in één Excel sheet zou kunnen downloaden. Het invoeren van de gegevens van meerdere percelen of bedrijven tegelijk wordt nog niet gefaciliteerd, maar het downloaden van de resultaten van één compleet bedrijf (inclusief scenario's) is wel mogelijk. Vanuit dit document kunnen direct analyses uitgevoerd worden.

## 5 Zichtbaarheid en gebruik

### 5.1 Webapplicatie platform FarmMaps

De tool is gelanceerd als een applicatie op het onafhankelijke platform FarmMaps, dat door WUR beheerd wordt. Dit platform is gekozen omdat het een groeiend platform is dat gebruikers de mogelijkheid biedt om naast de praktijktool BodemCoolstof kennis te maken met andere apps die voor hun bedrijfssysteem relevant kunnen zijn. Verder hanteert FarmMaps een 'grip-op-eigen-data'-systeem dat door veel gebruikers als prettig wordt ervaren. Data kan gedeeld worden voor bijv. onderzoeksdoeleinden, maar alleen als de gebruiker hier toestemming voor geeft. Ten alle tijden kan een gebruiker het delen van gegevens weer stopzetten. Een gebruiker kan gratis een account aanmaken op FarmMaps ([www.farmmaps.eu](http://www.farmmaps.eu), klik vervolgens op 'naar FarmMaps' midden op het scherm) en vervolgens de Praktijktool BodemCoolstof (gratis) als webapplicatie toevoegen aan het account. De tool is beschikbaar inclusief [handleiding](#) en [instructievideo](#), waardoor een gebruiker stap voor stap door de tool geleid wordt.

### 5.2 Gebruik vergroten door koppeling aan andere tools

#### 5.2.1 Kringloopwijzer

De Kringloopwijzer wordt nu al door bijna alle Nederlandse melkveehouders toegepast voor het monitoren van de mineralenkringloop op een melkveebedrijf. In de huidige versie van de Kringloopwijzer worden de emissies van methaan, lachgas en koolstofdioxide berekend, maar ontbreekt de berekening van de CO<sub>2</sub>-emissie/vastlegging uit de bodem. Daardoor is de invloed van het individuele melkveebedrijf op het klimaat nog niet volledig in beeld. Vanuit de sector is aangegeven dat ze dit onderdeel ook graag mee willen nemen in de Carbon Footprint berekening. Toevoeging van de koolstofbalans van de bodem kan de Kringloopwijzer geschikt maken als instrument voor:

- bewustwording bij gebruikers over de rol van de koolstofbodembalans in relatie tot de uitstoot van de overige broeikasgassen op het melkveebedrijf;
- ondersteuning van het beheer, gericht op maatregelen die de koolstofvastlegging bevorderen;
- ondersteuning van bedrijfsspecifieke afrekening van gerealiseerde koolstofvastlegging (Carbon Footprint Monitor);
- ondersteuning van de opzet en validatie van initiatieven over koolstofcertificering (carbon credits).

In 2021 is verkend welke benodigde invoergegevens nodig zijn in de KringloopWijzer voor het inbouwen van het koolstofmodel RothC. Voor de berekening van de koolstofbalans van minerale grondsoorten (zand en klei) zijn de volgende data nodig:

- aanvoer koolstof uit gewas en gewasresten
- aanvoer koolstof uit dierlijke mest
- organische stofgehalte van de bodem in de laag van 0-25 cm
- kleigehalte van de bodem in de laag van 0-25 cm
- dichtheid van de bodem in de laag van 0-25 cm
- gemiddelde maandelijkse neerslag, temperatuur en verdamping
- maandelijkse gewas-specifieke bodembedekking

Vervolgens is er een notitie opgesteld met verschillende opties waarop RothC ingebouwd zou kunnen worden in de Kringloopwijzer. Deze varieerde van eenvoudig tot gedetailleerd. De notitie is vervolgens voorgelegd aan de stuurgroep Doorontwikkeling KringloopWijzer. Hier is uiteindelijk het besluit genomen om in de Kringloopwijzer productieversie 2022 de koolstofmodule te verbeteren. Voor de eerste versie die in 2023 beschikbaar moet zijn is het de bedoeling om zonder extra invoer van de gebruiker, een koolstofbalans op vereenvoudigde wijze te berekenen met RothC. Een eerste conceptversie moet rond de zomer van 2022 klaar zijn.

#### 5.2.2 Cool Farm Tool

De Cool Farm Tool (CFT) is een internationale online tool voor het berekenen van broeikasgasemissies van landbouwbedrijven. De tool wordt al gebruikt door een groot aantal akkerbouwbedrijven die hiermee de carbon footprint van de landbouwproducten van hun leveranciers laten berekenen. BO akkerbouw heeft ervoor gekozen om de CFT te gaan gebruiken als tool voor het monitoren van broeikasgasemissies op akkerbouwbedrijven in Nederland, aangezien er in Nederland voor de akkerbouw nog geen geschikte nationale tool beschikbaar was om dit soort berekeningen uit te voeren. In de CFT wordt CO<sub>2</sub> vastlegging in bodems alleen op een gesimplificeerde manier meegenomen, gebaseerd op de IPCC Tier 1 benadering, waardoor het niet geschikt is voor meer detail monitoring en inzicht in het verloop van het organische stofgehalte in de bodem. In het kader van een BO akkerbouw project wordt nu gewerkt aan een koppeltool, zodat boeren direct de gegevens uit hun bedrijfsmanagement systems (zoals die van AgroVision en DACOM) kunnen invoeren in de CFT. Dit gebeurt via de CFT hub die als externe server nu door BO akkerbouw wordt gehost. Een directe inbouw van RothC in de Cool Farm Tool zou uiteindelijk de mooiste oplossing zijn, maar is niet op korte termijn haalbaar. Echter via de CFT hub die BO akkerbouw bouwt zou wel een directe koppeling met de praktijktool op FarmMaps mogelijk zijn. De CFT hub is momenteel nog in ontwikkeling. Er is afgesproken om contact op te nemen over de mogelijke koppeling aan de praktijktool BodemCoolstof zodra de hub beschikbaar komt. Mocht er geen koppeling tussen de CFT hub en de praktijktool mogelijk zijn, dan is het zaak om het gebruik van de praktijktool onder akkerbouwers via het platform FarmMaps te vergroten.

### 5.3 Plannen die zichtbaarheid tool vergroten

Op verschillende manieren wordt het gebruik van de tool gepromoot. Nu de tool op het platform FarmMaps beschikbaar is inclusief een handleiding en instructievideo, zullen huidige en nieuwe gebruikers van het platform interesse krijgen in het uitproberen van de tool. Om meer gebruikers te trekken, zal er een artikel in een vaktijdschrift (bijv. Boerderij of Nieuwe Oogst) geschreven worden. Daarnaast zal er ook via de website, de Slim Landgebruik stakeholder nieuwsbrief en het Twitter account van Slim Landgebruik ruchtbaarheid gegeven worden aan de tool en zal er een flyer ontwikkeld worden. Daarnaast zal het gebruik van het rekenmodel vergroot worden via de Kringloopwijzer en later misschien ook via de Cool Farm Tool. Via Netwerk Akkerbouw en Netwerk Veehouderij zullen de lighthouse farms ingezet worden om het gebruik van de tool te vergroten. Daarnaast zal de tool geïntroduceerd worden binnen het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer en bij de ondernemers die betrokken zijn bij het BedrijvenNetWerk van de PPS Beter Bodem Beheer.

## 6 Discussie

### 6.1 Belang praktijktool op nationaal niveau

De bijdrage die de tool levert bij het toewerken naar de klimaatdoelstelling van 0,5 Mton extra CO<sub>2</sub> vastlegging in minerale landbouwbodems zal de komende jaren moeten uitwijzen nu de praktijktool BodemCoolstof versie 1.0 online staat. In de nabije toekomst is het vooral van belang de tool uit te rollen bij een breder publiek (bijv. door de tool te koppelen aan de Kringloopwijzer) en te verbeteren. Binnen het programma Slim Landgebruik wordt de tool ingezet om het vrijwillig opnemen van koolstofmaatregelen te stimuleren. Uit gesprekken met de praktijk bleek dat er verschillende, relevante inzichten verkregen werden d.m.v. de tool. Waar de ene ondernemer de bevestiging kreeg dat hij de juiste keuzes rondom koolstofmaatregelen gemaakt had in het verleden, kreeg de ander inzicht in de potentie voor percelen met een negatieve koolstofbalans. Het is belangrijk in gedachte te houden dat de tool een middel is, en geen doel. Om het klimaatdoel te behalen, is het vooral van belang dat er bodemkoolstof-doelstellingen op bedrijfsniveau geformuleerd worden, en dat bodemkoolstofvastlegging in de bedrijfsstrategie ingepast kan worden zodat er nieuwe (duurzame) verdienmodellen ontstaan.

De tool hanteert een grip-op-eigen-data systeem, waardoor ondernemers zelf kunnen aangeven om gegevens te delen voor onderzoeksdoeleinden. Eind 2022 moet de eerste nationale emissierapportage over het jaar 2021 onder het Parijsakkoord en de EU LULUCF verordening (2018/841) worden opgeleverd. Het ontwikkelen en implementeren van een nationale monitoringssystematiek van veranderingen in bodem koolstofvoorraad in minerale landbouwbodem is daarvoor een vereiste. Of en in welke mate de tool in de toekomst kan bijdragen aan deze nationale monitoringsmethodiek (bijv. voor de validatie van de nationale monitoringsmethodiek) is nog onzeker. Dit ligt o.a. aan het gebruik en de bereidheid van gebruikers om data voor onderzoeksdoeleinden te delen. Daarnaast is het de vraag of de dataset die hierdoor verkregen zou kunnen worden representatief is.

Het koppelen van de tool aan bestaande databases en tools resulteert in een win-win situatie. Gegevens over het bedrijf en de percelen hoeven niet opnieuw ingevoerd te worden, wat resulteert in verbeterd gebruiksgemak en tijdsbesparing. Door het koppelen aan andere tools wordt de koolstofmodule in de deze tools verbeterd of toegevoegd, waardoor CO<sub>2</sub>-emissieberekeningen verbeteren, en door de tool aan te laten sluiten bij bestaande tools die nationaal geaccepteerd zijn, wordt het bereik en de acceptatie van de tool versnelt vergroot. In de melkveehouderij was een duidelijke vraag vanuit de praktijk om de tool te koppelen aan de Kringloopwijzer. Deze koppeling wordt in 2022 gerealiseerd. Bij akkerbouwers is er geen veelgebruikte tool om de mineralenkringloop op bedrijfsniveau in beeld te brengen. Het is daarom nog maar de vraag of een koppeling tussen de praktijktool BodemCoolstof en de Cool Farm Tool het bereik van de tool onder akkerbouwers vergroot. Het beschikbaar stellen van de tool op het platform FarmMaps, die o.a. streeft naar het optimaliseren van de mineralenkringloop op bedrijfsniveau, kan ook een goede manier zijn om het bereik van de tool te vergroten. Dit platform kan tevens een beginpunt zijn voor het koppelen van de tool aan andere webapplicaties die op dit platform worden aangeboden, om trade-offs en synergiën van managementaanpassingen in kaart te brengen (bijv., aaltjesgevoeligheid, N<sub>2</sub>O emissies).

### 6.2 Andere koolstoftools

Het waarborgen van een eenduidige boodschap naar de sector is erg belangrijk als het gaat om de mogelijkheden voor koolstofvastlegging in de minerale landbouwbodem. Er zijn verschillende tools in omloop die een koolstofmodule hebben ingebouwd (Tabel 1). Het valt direct op dat het rekenmodel waarop de tool gebaseerd is verschilt per tool. NDICEA is bijvoorbeeld oorspronkelijk ontwikkeld als tool die inzicht geeft in de stikstofhuishouding op een bedrijf. Een organische stof module is hier later aan toegevoegd. Veel andere tools rekenen de organische stof balans alleen uit op basis van de toegediende effectieve organische stof, zonder rekening te houden met het initiële organische stof gehalte van de bodem en de verschillende koolstofpools, met verschillende afbraaksnelheden, waarin deze organische stof zich bevindt. De C-module in de Cool Farm Tool is momenteel gebaseerd op zeer algemene IPCC richtlijnen (IPCC, 2006).

Ondernemers herkennen zich vaak niet in de resultaten omdat deze niet goed aansluiten bij de Nederlandse situatie. Daarnaast heb je nog een aantal tools die zich richten op de algehele bodemkwaliteit, waarbij het effect van organische stof op de bodemkwaliteit kwalitatief ingeschat wordt (bijvoorbeeld aan de hand van Kritische Prestatie Indicatoren). In Vlaanderen zien we dat bestaande tools het RothC model als rekenmodel hebben geïmplementeerd. Echter uit gesprekken is gebleken dat er in Vlaanderen niet altijd dezelfde bronnen voor de modelinvoer gebruikt worden, waardoor de eenduidige boodschap ook niet gewaarborgd kan worden. Naast België, bestaan er nog andere koolstoftools. Het is te verwachten dat er vanuit het EJP Soil programma (<https://ejpsoil.eu/>) de komende jaren gewerkt wordt aan het in kaart brengen van beschikbare tools uit andere landen.

**Tabel 1.** Overzicht van andere koolstoftools die in Nederland en België gebruikt worden en de eigenschappen van de verschillende tools.

| Tool                               | Rekenmodel                                     | Koolsto CO <sub>2</sub><br>fbalans vastlegging |                             | Effect<br>koolstofm<br>aantregelen | Bron/URL                                                                                                                                         | Opmerkingen                                                                       |
|------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Praktijktool<br>BodemCoolst<br>of  | RothC                                          | ja                                             | ja                          | ja                                 | <a href="#">Praktijktool<br/>BodemCoolstof<br/>  Slim<br/>Landgebruik;<br/>FarmMaps</a>                                                          | Trend lange-termijn                                                               |
| NDICEA                             | NDICEA                                         | ja                                             | ja (na<br>aanpassingen<br>) | ja<br>(beperkt)                    | LBI, <a href="#">NDICEA<br/>stikstofplanner</a>                                                                                                  | Trend korte-termijn                                                               |
| OS-balans                          | Toediening<br>effectieve<br>organische stof    | ja                                             | nee                         | nee                                | NMI-Agro, <a href="#">OS<br/>Balans (os-<br/>balans.nl)</a>                                                                                      | Neemt bodem organische<br>stof gehalte niet mee,<br>één jaar, geeft geen<br>trend |
| C-monitor                          | Toediening<br>effectieve<br>organische<br>stof | ja                                             | nee                         | nee                                | DLV-Advies,<br><a href="#">Inzicht in<br/>koolstofkringlo<br/>op - Nieuws<br/>(dlvadvies.nl)</a>                                                 | Basale schatting, één jaar,<br>geeft geen trend                                   |
| Eurofins                           | Toediening<br>effectieve<br>organische<br>stof | ja                                             | nee                         | nee                                | Eurofins,<br><a href="#">Rekenen aan<br/>organische stof<br/>- Eurofins Horti<br/>(eurofins-<br/>horti.com)</a>                                  | Neemt bodem organische<br>stof gehalte niet mee;<br>één jaar, geeft geen<br>trend |
| C-module<br>in Cool Farm<br>Tool   | IPCC 2006<br>richtlijnen                       | nee                                            | nee                         | ja<br>(beperkt)                    | Cool Farm<br>Alliance, <a href="#">Cool<br/>Farm Tool   An<br/>online<br/>greenhouse<br/>gas, water,<br/>and<br/>biodiversity<br/>calculator</a> | Niet representatief voor<br>Nederland                                             |
| C-module in<br>Kringloopwijz<br>er | Toediening<br>effectieve<br>organische<br>stof | nee                                            | nee                         | nee                                | Van Dijk et<br>al., 2020, <a href="#">Home<br/>- Mijn<br/>Kringloopwijze<br/>r</a>                                                               | Neemt organische stof<br>gehalte niet mee. Dit<br>wordt in 2022 aangepast.        |

|                    |                             |     |     |                       |                                                                                                                              |                         |
|--------------------|-----------------------------|-----|-----|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Bodemconditiescore | Geen (kwalitatieve analyse) | nee | nee | nee                   | Soilpedia, LBI, WUR, AEQUATOR, Boeren Verstand, <a href="#">Mijn BodemConditie – Een andere Boerenverstand websites site</a> | Focus op bodemkwaliteit |
| Open Bodem Index   | Geen (kwalitatieve analyse) | nee | nee | nee                   | WUR, NMI-Agro, FarmHack; <a href="#">home   Open Bodem Index</a>                                                             | Focus op bodemkwaliteit |
| Demeter            | RothC                       | ja  | ja  | ja (na aanpassing en) | Vlaamse Land Maatschappij; <a href="#">Demeter   Vlaamse Landmaatschappij (vlm.be)</a>                                       | Gebruikt in Vlaanderen  |
| CSLIM              | RothC                       | ja  | Ja  | nee                   | Bodemkundige Dienst van België; <a href="#">CSLIM v2.0 (bdb.be)</a>                                                          | Gebruikt in Vlaanderen  |

De rekenkern RothC en NDICEA zijn de enige twee rekenmodellen die in de praktijk gebruikt worden om CO<sub>2</sub> vastlegging te berekenen. De praktijktool is momenteel het enige model dat het effect van maatregelen kan doorrekenen. De mogelijkheden en beperkingen van de verschillende tools moeten duidelijk gecommuniceerd worden naar de sector. Resultaten van verschillende tools naast elkaar bekijken kan ook een mogelijkheid zijn om inzicht te krijgen en te geven in de verschillen of overeenkomsten tussen tools. Uit een eerdere studie van Lesschen et al. (2020a) is gebleken dat het RothC en NDICEA model erg overeenkomstige resultaten tonen. In de toekomst zou gekeken kunnen worden of de resultaten van de praktijktool BodemCoolstof gebaseerd kunnen worden op berekeningen van een ensemble van meerdere modellen (Gasser et al., 2020). Dit zou ook meer inzicht kunnen opleveren in de onzekerheid in de modelresultaten.

## 6.3 Verbeterpunten praktijktool BodemCoolstof

### 6.3.1 Verbeterpunten interface en rekenmodel

In hoofdstuk 3.5 en 4 zijn al enkele verbeterpunten genoemd. Deze zijn vooral gericht op het verbeteren van de invoergegevens en het gebruiksgemak, zoals:

- Klimaatscenario's inbouwen voor het berekenen van het effect van toekomstscenario's.
- Bedrijfsgegevens zoals bodemanalyses, gewasopbrengsten, het zaaien van een groenbemester, type en hoeveelheid organische mesttoediening, en het al dan niet achterlaten van gewasresten, koppelen aan andere dataplatforms zoals DACOM, AgroVision, Eurofins en RVO.
- Knoppen of pop-ups toevoegen zodat een gebruiker makkelijker door de tool geleid wordt.
- Het doorrekenen van maatregelen op een andere manier faciliteren, zodat een gebruiker beter weet welke opties er mogelijk zijn.
- Nieuwe maatregelen inbouwen of berekeningen verbeteren, zoals leeftijd grasland verhogen en snijmais met strokenfrees.
- Het inbouwen van irrigatie. Irrigatie heeft namelijk een sterk effect op het vochtgehalte in de bodem. Uit de gevoeligheidsanalyse kwam naar voren dat het model erg gevoelig is voor veranderingen in het vochtgehalte.
- Het invoeren van meerdere teelten in één groeiseizoen is een wens van o.a. groentetelers.



- Alleen bij strogewassen zou de mogelijkheid zichtbaar moeten zijn om stro te verwijderen of op het land te laten. Nu heeft de gebruiker deze mogelijkheid bij elk gewas en dat kan tot verwarring leiden.
- Melkveehouders gaven aan dat het effect van beweiding momenteel te beperkt is in de tool aanwezig is.
- Om het gebruik van de tool te vergroten, is het van belang dat er een onzekerheidsanalyse wordt uitgevoerd. Tot nu toe wordt de tool voornamelijk ingezet om het effect van maatregelen te toetsen. Het relatieve verschil tussen het standaard toekomstscenario en de alternatieve scenario's is hierbij van belang. De absolute effecten van koolstofmaatregelen worden belangrijker zodra de tool wordt ingezet voor het verwaarden van bijv. carbon credits. Het tonen van onzekerheden in de input, modelberekeningen, en resultaten is daarom van toegevoegde waarde om de inzet van de tool te vergroten.
- Vanuit de klimaatdoelstelling zou het aantrekkelijk zijn als de tool niet alleen koolstofvastlegging simuleert, maar ook afwentelingseffecten, zoals  $N_2O$ , meeneemt. Vanuit de praktijk kwam ook de wens om de tool te koppelen aan andere biologische, fysische, en chemische processen in de bodem.
- Ook vanuit agrarisch adviseurs is er de wens om data van meerdere percelen en/of bedrijven tegelijk in te voeren.

Er wordt gestreefd naar een tool waarin een groot deel van de agrarische sector zich kan herkennen, maar er kan niet voldaan worden aan elke individuele wens, bijv. omdat onderbouwende data ontbreekt, het niet binnen de bestaande modelstructuur past, of omdat het de complexiteit van het rekenmodel zou vergroten waardoor de vraag naar meer aannames/invoergegevens toeneemt. Verbeterpunten worden geprioriteerd op basis van de behoefte uit de praktijk en de mogelijkheden binnen het rekenmodel en de interface.

### 6.3.2 Kennishiaten

- Data voor het omrekenen van vers gewicht naar koolstofaanvoer zijn niet voor alle gewassen, groenbemesters en organische mesttypen beschikbaar, waardoor er aannames gemaakt moeten worden. Het uitbreiden van deze lijsten is hierdoor niet zinvol en wekt schijnzekerheid. Dit is dan ook een reden waarom de uitgebreide gewas-, mest- en groenbemesterlijst van RVO niet gekoppeld is aan de tool.
- Koolstofaanvoer uit groenbemestermengsels is vrijwel nog onbekend en afhankelijk van welke soorten uit het mengsel opkomen. Ook het bemesten van groenbemesters en het effect hiervan op de biomassa wordt nog niet meegenomen omdat data hierover nog ontbreken.
- Uit bestaande databases moeten analyses gemaakt worden waardoor inzicht verkregen wordt in de variatie van de samenstelling van mesttypen. Indien er voor de verschillende mesttypen een sterke relatie vastgesteld kan worden tussen het C-gehalte en de C:N-ratio, dan zou er een C-gehalte uitgerekend kunnen worden zodra het N-gehalte uit de mest ingevoerd wordt door een gebruiker. Op deze manier kan de stikstofgebruiksruimte meegenomen worden, waarbij er een waarschuwing toegevoegd kan worden wanneer deze overschreden wordt. Ook is het belangrijk om met Eurofins in gesprek te gaan, om te kijken naar de mogelijkheden om C-gehalte mee te gaan nemen in een standaard analyse van organische mest. Momenteel wordt er alleen op N, P en K geanalyseerd.
- De verdeling van de C-aanvoer uit gewasresten, groenbemesters en organische meststoffen over de DPM-, RPM-, en HUM-pools heeft nadere onderbouwing en mogelijk differentiatie.
- Zodra er aangetoond kan worden dat bijv. niet-kerende grondbewerking, diep wortelende grassoorten of kruidenrijk grasland een significant effect hebben op koolstofvastlegging, dan zullen deze maatregelen toegevoegd worden.



## 7 Conclusie

De praktijktool BodemCoolstof geeft boeren, maar ook agrarisch adviseurs en accountants de kans om een koolstofbalans te berekenen en inzicht te krijgen in de verandering van het organische stofgehalte in de bodem over de tijd als het huidige koolstofmanagement wordt voortgezet in de toekomst, en als er koolstofmaatregelen genomen worden. De praktijktool BodemCoolstof biedt gebruikers de mogelijkheid om bodemkoolstofmanagement mee te nemen in de bedrijfsvoering, waardoor ze een bijdrage kunnen leveren aan de nationale klimaatdoelstelling en de ontwikkeling of het behoud van een gezonde, vitale bodem.

Zoals elke tool, is ook de praktijktool BodemCoolstof een conceptuele representatie van de werkelijkheid. Bodemkoolstofmetingen en onzekerheidsanalyses zijn belangrijk om de nauwkeurigheid van de resultaten te onderbouwen. Het berekenen van relatieve verschillen tussen scenario's zijn onderbouwd m.b.v. lange-termijn experimenten. Echter, voor het onderbouwen van de absolute koolstofvastlegging in een perceel of op een bedrijf, is het noodzakelijk om aandacht te besteden aan de onzekerheid in de invoergegevens, modelberekeningen, en resultaten. Dit is met name van belang als de tool ingezet gaat worden voor het verwaarden van bodemkoolstofbehoud en -vastlegging.

In 2022 wordt er toegewerkt naar een verbeterde praktijktool BodemCoolstof (versie 2.0), waarbij er gestreefd wordt naar het verwerken van genoemde verbeterpunten (zie hoofdstuk 6.3). Verder zullen er verschillende activiteiten plaatsvinden waarbij de kenbaarheid en het gebruik van de tool vergroot wordt (zie hoofdstuk 5.3).

## 8 Referenties

- CBAV, 2017. Handboek bodem en bemesting. (sd). Kentallen organische stof. Opgeroepen op mei 15, 2017, van Handboek bodem en bemesting: <http://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Organisch-stofbeheer/Organische-stof/Kengetallen-organische-stof.html>.
- CBS, 2022. CBS StatLine. <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/navigatieScherm/thema>.
- Coleman K., Jenkinson D.S., 1996. RothC-26.3 - A Model for the turnover of carbon in soil. In: Powlson D.S., Smith P., Smith J.U. (eds.) Evaluation of Soil Organic Matter Models. NATO ASI Series (Series I: Global Environmental Change), vol 38. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-61094-3\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-642-61094-3_17)
- Coleman, K., Jenkinson, D.S., 2014. RothC-26.3 – A model for the turnover of carbon in soil. Evaluation of Soil Organic Matter Models: 237-246.
- Farina, R., Coleman, K., Whitmore, A.P., 2013. Modification of the RothC model for simulations of soil organic C dynamics in dryland regions. Geoderma 200-201: 18-30. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.01.021>
- Gasser A.A., Diel, J., Nielsen, K., Mewes, P., Engels, C., 2020. A model ensemble approach to determine the humus building efficiency of organic amendments in incubation experiments. Soil Use & Management 38:179 – 190.
- Garcia-Condado, S., López-Lozano, R., Panarello, L., Cerrani, I., Nisini, L., Zucchini, A., Van der Velde, M., Baruth, B., 2019. Assessing lignocellulosic biomass production from crop residues in the European Union: Modelling, analysis of the current scenario and drivers of interannual variability. GCB Bioenergy 11: 809-831. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12604>.
- Hanegraaf, M.C., Nienhuis, C., Vervuurt, W., Selin Norén, I., van Geel, W., de Haan, J., 2021. Kengetallen HC en EOS van organische meststoffen en bodemverbeteraars. Verkenning van oude en nieuwe waarden met het oog op actualisatie. Wageningen Plant Research, Rapport WPR-873.
- Heinen, M., Brouwer, F., Teuling, K., Walvoort, D., 2021. BOFEK2020 - Bodemfysische schematisatie van Nederland; Update bodemfysische eenhedenkaart. Wageningen, Wageningen Environmental Research Rapport 3056. pp.84.
- Hoekstra, C., Poelman, J.N.B., 1982. Dichtheid van gronden gemeten aan de meest voorkomende bodemeenheden in Nederland. STIBOKA, Wageningen. Stichting voor Bodemkartering 1583: p. 47.
- IPCC, 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Japan.
- Klumpp, N.K., Coleman, K., Dondini, M., Goulding, K., Hastings, A., Jones, M. B., Leifeld, J., Osborne, B., Saunders, M., Scott, T., Teh, Y. A., Smith, P., 2017. Soil Organic Carbon (SOC) Equilibrium and Model Initialisation Methods: an Application to the Rothamsted Carbon (RothC) Model. Environmental Modeling & Assessment, 22: 215-229. <https://doi.org/10.1007/s10666-016-9536-0>.
- Koopmans, Timmermans, B., De Haan, J., Van Opheusden, M., Noren, I.S., Slier, T., Wagenaar, J.P., 2020. Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden 2019-2023: voortgangsrapportage 2020. Louis Bolk Instituut. <https://edepot.wur.nl/534917>.
- Kortleven, J., 1963. Kwantitatieve aspecten van humusopbouw en humusafbraak. Dissertatie, Wageningen.
- Kuzyakov, Y., Domanski, G., 2000. Carbon input by plants into the soil. Review. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 163: 421-431. [https://doi.org/10.1002/1522-2624\(200008\)163:4<421::AID-JPLN421>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/1522-2624(200008)163:4<421::AID-JPLN421>3.0.CO;2-R)
- Lesschen, J. P., Hendriks, C., Slier, T., Porre, R., Velthof, G., & Rietra, R. (2021). De potentie voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw. (Rapport / Wageningen Environmental Research; No. 3130). Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/557330>.
- Lesschen, J. P., Hendriks, C., van de Linden, A., Timmermans, B., Keuskamp, J., Keuper, D., Hanegraaf, M., Conijn, S., & Slier, T. (2020a). Ontwikkeling praktijktool voor bodem C. (Wageningen Environmental Research rapport; No. 2990). Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/517746>
- Lesschen, J.P., Vellinga, T., Dekker, S., Van der Linden, A., Schils, R., 2020b. Mogelijkheden voor monitoring van CO<sub>2</sub>-vastlegging en afbraak van organische stof in de bodem op melkveebedrijven. Wageningen, Wageningen Environmental Research Rapport 2993. pp.64.

- Makkink, G.F., 1957. Testing the Penman Formula by Means of Lysimeters. *Journal of the Institution of Water Engineers* 11: 277-288.
- Scarlat, N., Martinov, M., Dallemand, J.-F., 2010. Assessment of the availability of agricultural crop residues in the European Union: Potential and limitations for bioenergy use. *Waste Management* 30: 1889-1897. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.04.016>.
- Schepens, J.A.B., Timmermans, B.G.H., Fuchs, L., Peters, R., Bloem, J., Heupink, D.T., Wagenaar, J.P., Slier, T., Koopmans, C.J., 2022. Meerjarige evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden. Slim Landgebruik. Publicatienr.: 2022-016 LbP.
- Selin Norén, I., van Geel, W., De Haan, J. (2021) Cover crop reference values: effective organic matter and nitrogen uptake, Wageningen Research, report WPR 877.
- Skjemstad, J.O., Spouncer, L.R., Cowie, B.A., Swift, R.S., 2004. Calibration of the Rothamsted organic carbon turnover model (RothC ver. 26.3), using measurable soil organic carbon pools. *Australian Journal of Soil Research* 42: 79-88. <https://doi.org/10.1071/SR03013>.
- Slier, T., Lesschen, J.P., Stout, B., Porre, R., Agricola, H., De Haan, J., Koopmans, C., 2021. CO2Bodem - Tussenresultaten Slim Landgebruik. [https://www.slimlandgebruik.nl/sites/default/files/2021-12/slimlandgebruik\\_co2bodem\\_2021.pdf](https://www.slimlandgebruik.nl/sites/default/files/2021-12/slimlandgebruik_co2bodem_2021.pdf).
- Taghizadeh-Toosi, A., Christensen, B.T., Hutchings, N.J., Vejlin, J., Kätterer, T., Glendining, M., Olesen, J.E., 2014. C-TOOL: A simple model for simulating whole-profile carbon storage in temperate agricultural soils. *Ecological Modelling* 292: 11-25. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.08.016>
- Tol-Leenders, D., Knotters, M., de Groot, W., Gerritsen, P., Reijneveld, A., van Egmond, F., Wösten, H., & Kuikman, P., 2019. Koolstofvoorraad in de bodem van Nederland (1998-2018): CC-NL. (Wageningen Environmental Research rapport; No. 2974). Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/509781>.
- Van Dijk, W., De Boer, J.A., De Haan, M.H.A., Mostert, P., Oenema, J., Verloop, J., 2020. Rekenregels van de KringloopWijzer 2020; Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2019-versie. Wageningen Research, Rapport WPR-1023: p. 152.
- Van Eekeren, 2020. Grasland is de beste bodemverbeteraar. VeeteeltGRAS: <https://edepot.wur.nl/518993>.
- Van Groenigen, J.W., Zwart, K.B., 2007. Koolstof en stikstof mineralisatie van verschillende soorten compost : een laboratorium studie. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1502: p.30.
- Wösten, J.H.M., Veeran, G.J., De Groot, W.J.M., Stolte, J., 2001. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks - Vernieuwde uitgave 2001. Wageningen Alterra, Rapport 152, 86p.
- Zimmermann, M., Leifeld, J., Schmidt, M.W.I., Smith, P., Fuhrer, J., 2007. Measured soil organic matter fractions can be related to pools in the RothC model. *European Journal of Soil Science* 58: 658-667. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00855.x>.

# Bijlage A

Interviews met de sector om het huidige gebruik van (koolstof)tools en de behoefte in nieuwe inzichten omtrent koolstofvastlegging te toetsen.

|                     | Inzicht in koolstofbalans? Via welke tool?                                                   | Behoefte aan tool die C balans over tijd, en effect bodem C maatregelen zichtbaar maakt? | Gegevens aan bestaande initiatieven koppelen? | Tool integreren?                                                      | Inzicht op perceels- en/of bedrijfsniveau? | Tijdsspanne waarover inzicht gewenst is? |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>Akkerbouwers</b> | Ja, Agrovision                                                                               | Ja, koolstofbalans                                                                       | Ja                                            | Ja                                                                    | --                                         | --                                       |
|                     | Ja, NDICEA                                                                                   | Ja, koolstofbalans en maatregelen                                                        | Ja                                            | Ja, integreren met N-balans.                                          | --                                         | --                                       |
|                     | Nee                                                                                          | Advies gewenst                                                                           | Niet digitaal heeft voorkeur.                 | Ja, integreren met kosten-baten.                                      | --                                         | --                                       |
|                     | Nee                                                                                          | Ja, maatregelen                                                                          | Ja, koppelen aan DACOM                        | Ja                                                                    | --                                         | --                                       |
|                     | Nee                                                                                          | Ja, zoveel mogelijk                                                                      | Ja, koppelen aan Agrovision                   | Ja                                                                    | Bouwplanniveau                             | --                                       |
|                     | Ja, Planet Proof                                                                             | Ja, koolstofbalans                                                                       | Nee                                           | Ja, integreren met kosten-baten, en P-toestand.                       | --                                         | --                                       |
|                     | Nee                                                                                          | Ja, koolstofbalans                                                                       | Ja, koppelen aan mestbalans CRV               | Ja                                                                    | --                                         | --                                       |
|                     | Ja, Agrifirm en NDICEA                                                                       | Ja, maar Agrifirm en NDICEA bevallen ook goed.                                           | Ja                                            | Nee                                                                   | --                                         | --                                       |
|                     | Ja, Eurofins. Eerst Nutrinorm geprobeerd, en Cool Farm Tool. Niet tevreden i.v.m. rekenfout. | Ja, zoveel mogelijk                                                                      | Ja                                            | Ja                                                                    | --                                         | --                                       |
|                     | Nee                                                                                          | Ja, vooral maatregelen en effect bouwplanaanpassing                                      | Ja                                            | Nee                                                                   | --                                         | --                                       |
|                     | Ja, Planet Proof. Veel aannames. Twijfelt over betrouwbaarheid.                              | Ja, maatregelen                                                                          | Ja, koppelen aan CROP                         | Ja, integreren met P en N. Integreren met kosten-baten zou leuk zijn. | --                                         | --                                       |
|                     | Nee                                                                                          | Ja, maar mag niet te complex zijn.                                                       | Nee, om tool simpel te houden.                | Ja, integreren met zoveel mogelijk, maar geen kosten-baten.           | --                                         | --                                       |
|                     | Ja, via Veldleeuwerik (niet regelmatig)                                                      | Nee, probeert al het maximale te doen.                                                   | --                                            | Ja, integreren met wettelijk kader.                                   | --                                         | --                                       |
|                     | Ja, CZAV online bemestingsplan                                                               | Nee, wordt toch niets mee gedaan.                                                        | Registratie bij afleveren.                    | Ja                                                                    | --                                         | --                                       |
|                     | Nee                                                                                          | Ja, want nu is grondmonster enige indicator.                                             | Nee, excel is prima                           | --                                                                    | --                                         | --                                       |

|                   | Ja, Delphy bemestingsplan Planet Proof                               | Ja, maatregelen                                                                                 | Ja, dat is een voorwaarde.                                                          | Nee                                                                                                                                         | --                                                | --                                              |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                   | Netwerk Flevoland: ja, NDICEA. Netwerk Brabant en Veenkolonien: nee. | Ja, inzicht in verloop van koolstofgehalte in de bodem over tijd.                               | Ja, hoe minder tijd het kost, hoe beter.                                            | Nee, focus op C (en N).                                                                                                                     | --                                                | --                                              |
|                   | <b>Inzicht in koolstofbalans? Via welke tool?</b>                    | <b>Behoefte aan tool die C balans over tijd, en effect bodem C maatregelen zichtbaar maakt?</b> | <b>Gegevens aan bestaande initiatieven koppelen?</b>                                | <b>Tool integreren?</b>                                                                                                                     | <b>Inzicht op perceels- en/of bedrijfsniveau?</b> | <b>Tijdsspanne waarover inzicht gewenst is?</b> |
| <b>Veehouders</b> | Nee                                                                  | Nee                                                                                             | --                                                                                  | Ja, bodembioologische, fysische en chemische processen kunnen niet los van elkaar beoordeeld worden. Integreren met N, P en bodembioologie. | --                                                | --                                              |
|                   | Nee                                                                  | Ja, vooral maatregelen omtrent bemesting.                                                       | Ja, aan Kringloopwijzer maar dan hopelijk wel overzichtelijker dan Kringloopwijzer. | Ja                                                                                                                                          | Bedrijfsniveau (homogeen gebied)                  | Jaarlijks                                       |
|                   | Nee                                                                  | Ja, vooral maatregelen omtrent bemesting.                                                       | Ja, aan Kringloopwijzer. Tool moet simpel en transparant zijn.                      | Ja, integreren is altijd goed, maar niet met kosten-baten.                                                                                  | Perceels -en bedrijfsniveau                       | 20 jaar                                         |
|                   | Nee                                                                  | Ja, maar mag niet teveel tijd kosten.                                                           | Weet ik niet.                                                                       | Ja, integreren met bodemstructuur en bodembioologie.                                                                                        | Perceels -en bedrijfsniveau                       | Elke 5 jaar en lange-termijn                    |
|                   | Ja, Kringloopwijzer. Zonder referentie zegt het weinig.              | Ja, essentieel om koolstofmanagement te verbeteren.                                             | Ja, aan Kringloopwijzer.                                                            | Ja, integreren met bodemchemische, fysische en biologische processen, en met gewasopbrengst. Niet integreren met kosten-baten.              | Perceels -en bedrijfsniveau                       | > 5 jaar                                        |
|                   | Nee                                                                  | Nee                                                                                             | --                                                                                  | Nee                                                                                                                                         | --                                                | --                                              |
|                   | Nee                                                                  | Ja, essentieel om gewaardeerd te kunnen worden.                                                 | Ja, aan Kringloopwijzer of Planet Proof (Friesland Campina).                        | Ja                                                                                                                                          | Perceelsniveau                                    | Zolang een maatregel significant bijdraagt      |
|                   | Nee                                                                  | Ja, om inzicht te krijgen waar verbetering mogelijk is.                                         | Ja, aan Kringloopwijzer.                                                            | Ja, integreren met bodemchemische, fysische en biologische processen, en met gewasopbrengst. Kosten-baten kan interessant zijn.             | Bedrijfsniveau                                    | Jaarlijks                                       |

| Inzicht in koolstofbalans?<br>Via welke tool? | Behoeftte aan tool die C balans over tijd, en effect bodem C maatregelen zichtbaar maakt? | Gegevens aan bestaande initiatieven koppelen?                 | Tool integreren?                                                                                           | Inzicht op perceels- en/of bedrijfsniveau?                                                                                                    | Tijdsspanne waarover inzicht gewenst is? |                                            |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                                               | Ja, uit het hoofd                                                                         | Nee                                                           | --                                                                                                         | Nee                                                                                                                                           | --                                       | --                                         |
|                                               | Ja, DLV C Module                                                                          | Ja, om aan te tonen wat we doen en wat het effect hiervan is. | Ja, aan Kringloopwijzer of Planet Proof (Friesland Campina), maar wel boervriendelijker en advies gericht. | Ja, integreren met informatie over weidevogels.                                                                                               | Perceels -en bedrijfsniveau              | --                                         |
|                                               | Nee                                                                                       | Nee                                                           | --                                                                                                         | Ja, integreren met N, P, bodemstructuur en bodembioogie.                                                                                      | --                                       | --                                         |
|                                               | Nee                                                                                       | Ja, om inzicht te krijgen waar verbetering mogelijk is.       | Ja, aan Kringloopwijzer (er is geen andere tool).                                                          | Ja, integreren met N, P, bodemstructuur, bodembioogie, K en Se.                                                                               | Bedrijfsniveau                           | 3 - 5 jaar en lange-termijn                |
|                                               | Nee                                                                                       | Ja, om inzicht te krijgen waar verbetering mogelijk is.       | Ja, aan Kringloopwijzer als management tool, niet als controle middel.                                     | Ja, integreren met bodemchemische, fysische en biologische processen, en met gewasopbrengst en kosten-baten.                                  | Perceelsniveau                           | Elke 4 jaar                                |
|                                               | Ja, DLV C Module                                                                          | Ja, om kringlopen te sluiten.                                 | Ja, aan Kringloopwijzer voor eenduidig advies.                                                             | Ja, integreren met bodemchemische, fysische en biologische processen en met verteerbaarheid, nutriëntensamenstelling en kosten-baten analyse. | Bedrijfsniveau                           | Terugverdientermijn -en effectieve periode |
|                                               | Ja, DLV C Module                                                                          | Nee, maar wel nieuwsgierig.                                   | Ja, aan Kringloopwijzer, maar verandering hieraan is nodig.                                                | Dat weet ik nu nog niet.                                                                                                                      | Perceels -en bedrijfsniveau              | Elke 4 jaar                                |
|                                               | Nee                                                                                       | Ja, om inzicht te krijgen waar verbetering mogelijk is.       | Ja, aan Kringloopwijzer voor eenduidig advies.                                                             | Ja                                                                                                                                            | Perceels -en bedrijfsniveau              | > 10 jaar                                  |
|                                               | Nee                                                                                       | Ja, om inzicht te krijgen waar verbetering mogelijk is.       | Ja, aan de mestbalans.                                                                                     | Nee                                                                                                                                           | Bedrijfsniveau                           | Bouwplan (elke 3 jaar)                     |
|                                               | Ja, DLV C Module                                                                          | Ja, vooral maatregelen omtrent bemesting                      | Ja, aan Kringloopwijzer voor eenduidig advies.                                                             | Ja, integreren met bodemchemische, fysische en biologische processen en met gewasopbrengst, samenstelling gewas en gewasweerbaarheid.         | Perceels -en bedrijfsniveau              | > 5 jaar                                   |

# Bijlage B

Omrekenstabellen om het koolstofgehalte te bepalen aan de hand van het versgewicht.

Omreken tabel voor gewassen:

|                       | Droge stof<br>gehalte | C input<br>gewasresten* | Harvest Index* |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|
| Aardbeien             | 0.15                  | 2                       | 0.5            |
| Ander fruit           | 0.15                  | 3                       | 1              |
| Ander gewas           | 0.7                   | 2                       | 0.5            |
| Ander graangewas      | 0.85                  | 2                       | 0.46           |
| Andere groenten       | 0.11                  | 1.23                    | 0.55           |
| Andere zaden          | 0.85                  | 3                       | 0.5            |
| Appels                | 0.14                  | 3                       | 1              |
| Bladgroenten          | 0.05                  | 0.7                     | 0.56           |
| Bollen                | 0.25                  | 1                       | 1              |
| Boomkwekerij          | 0.25                  | 2                       | 0.85           |
| Braak                 |                       | 0                       |                |
| Consumptieaardappel   | 0.24                  | 2                       | 0.69           |
| Corn cob mix          | 0.8                   |                         |                |
| Courgette             | 0.05                  | 0.7                     | 0.4            |
| Grasland (natuurlijk) | 1                     | 5.1                     | 0.444          |
| Grasland (permanent)  | 1                     | 5.1                     | 0.444          |
| Grasland (tijdelijk)  | 1                     | 3.4                     | 0.444          |
| Graszaad              | 0.85                  | 3                       | 0.2            |
| Groenbemester         | 0.25                  | 4                       | 0.3            |
| Haver                 | 0.85                  |                         |                |
| Koolgroenten          | 0.08                  | 2.8                     | 0.47           |
| Luzerne               | 0.25                  | 2                       | 0.5            |
| Korrelmais            | 0.85                  |                         |                |
| Peren                 | 0.14                  | 3                       | 1              |
| Peulvrucht            | 0.85                  | 2                       | 0.69           |
| Pompoen               | 0.18                  | 0.7                     | 0.56           |
| Pootaardappel         | 0.24                  | 2                       | 0.69           |
| Miscanthus            | 1                     | 5                       | 0.444          |
| Prei                  | 0.08                  | 0.7                     | 0.6            |
| Raapzaad              | 0.85                  |                         |                |
| Rogge                 | 0.85                  | 0                       | 0.46           |
| Suikerbiet            | 0.25                  | 3                       | 0.69           |
| Triticale             | 0.85                  | 2                       | 0.46           |
| Ui                    | 0.25                  | 1                       | 1              |
| Vezelgewas            | 0.85                  | 0                       | 0.92           |
| Voederbiet            | 0.25                  | 3                       | 0.69           |
| Snijmais              | 0.35                  | 1.1                     | 0.67           |
| Wijngaard             | 0.15                  | 3                       | 0.7            |
| Wilgen                | 1                     | 3                       | 0.85           |
| Wintergerst           | 0.85                  |                         |                |
| Wintertarwe           | 0.85                  |                         |                |
| Witlof                | 0.23                  | 1.4                     | 0.6            |

|                     |      |     |      |
|---------------------|------|-----|------|
| Wortel/knolgroenten | 0.1  | 1.6 | 0.63 |
| Zetmeelaardappel    | 0.24 | 2   | 0.69 |
| Zomergerst          | 0.85 |     |      |
| Zomertarwe          | 0.85 |     |      |
| Zonnebloem          | 0.85 |     |      |

\* De C input van gewasresten en Harvest Index worden voor strogewassen berekend aan de hand van Garcia-Condado (2019), waarbij er rekening wordt gehouden met de gewasopbrengst (in kg droge stof/ha):

|                                        |   |                                                          |
|----------------------------------------|---|----------------------------------------------------------|
| Harvest Index <sub>mais</sub>          | = | 0.024 x gewasopbrengst <sub>mais</sub> + 0.228           |
| Harvest Index <sub>Corn Cob Mix</sub>  | = | 0.024 x gewasopbrengst <sub>corn cob mix</sub> + 0.228   |
| Harvest Index <sub>winter tarwe</sub>  | = | 0.0246 x gewasopbrengst <sub>winter tarwe</sub> + 0.3192 |
| Harvest Index <sub>zomer tarwe</sub>   | = | 0.0246 x gewasopbrengst <sub>zomer tarwe</sub> + 0.3192  |
| Harvest Index <sub>winter gerst</sub>  | = | 0.0256 x gewasopbrengst <sub>winter gerst</sub> + 0.3727 |
| Harvest Index <sub>zomer gerst</sub>   | = | 0.0256 x gewasopbrengst <sub>zomer gerst</sub> + 0.3727  |
| Harvest Index <sub>raapzaad</sub>      | = | 0.008 x gewasopbrengst <sub>raapzaad</sub> + 0.3037      |
| Harvest Index <sub>rogge</sub>         | = | 0.0256 x gewasopbrengst <sub>rogge</sub> + 0.3727        |
| Harvest Index <sub>haver</sub>         | = | 0.0256 x gewasopbrengst <sub>haver</sub> + 0.3727        |
| Harvest Index <sub>zonnebloem</sub>    | = | 0.0077 x gewasopbrengst <sub>zonnebloem</sub> + 0.3045   |
| Harvest Index <sub>andere granen</sub> | = | 0.0256 x gewasopbrengst <sub>zomer gerst</sub> + 0.3727  |

C input (ton C/ha/jaar) voor groenbemesters en vanggewassen\*:

|                                | Hoe lang het gewas op het land heeft gestaan: |               |            |
|--------------------------------|-----------------------------------------------|---------------|------------|
|                                | < 2 maanden                                   | 2 – 4 maanden | >4 maanden |
| Afrikaantjes                   | 2.8                                           | 2             | 1.4        |
| Bladrammenas                   | 3.6                                           | 2.5           | 1.8        |
| Engels Raaigras                | 3.2                                           | 2.2           | 1.6        |
| Facelia                        | 0.3                                           | 0.2           | 0.1        |
| Gele Mosterd                   | 2.1                                           | 1.4           | 1          |
| Gerst                          | 2.6                                           | 1.8           | 1.3        |
| Graan                          | 2.2                                           | 1.5           | 1.1        |
| Grasland                       | 3.4                                           | 2.4           | 1.7        |
| Haver                          | 2.6                                           | 1.8           | 1.3        |
| Italiaans Raaigras             | 3.2                                           | 2.2           | 1.6        |
| Japanse Haver                  | 2.6                                           | 1.8           | 1.3        |
| Mengsel <sub>groenbraak</sub>  | 2.8                                           | 2             | 1.4        |
| Mengsel <sub>natuurbraak</sub> | 3                                             | 2.1           | 1.5        |
| Mengsel <sub>N-bron</sub>      | 2.8                                           | 2             | 1.4        |
| Mengsel <sub>N-vanggewas</sub> | 2.8                                           | 2             | 1.4        |
| Overig                         | 2.6                                           | 1.8           | 1.3        |
| Rietzwenkgras                  | 3.2                                           | 2.2           | 1.6        |
| Rogge                          | 2.5                                           | 1.8           | 1.3        |
| Voederwikke                    | 1.3                                           | 0.9           | 0.6        |

\*Bron: Selin Norén et al. (2021)

C gehalte voor organische mesttypen en compost:

| Type mest          | t C/t versgewicht* |
|--------------------|--------------------|
| Champost           | 0.11               |
| Compost            | 0.11               |
| Digestaat          | 0.02               |
| Dikke fractie      | 0.08               |
| Drijfmest melkvee  | 0.04               |
| Dunne fractie      | 0.02               |
| Kippenmest         | 0.21               |
| Kunstmestvervanger | 0.01               |



|                    |      |
|--------------------|------|
| Overig             | 0.02 |
| Schapen/geitenmest | 0.09 |
| Varkensdrijfmest   | 0.04 |
| Vaste mest melkvee | 0.08 |
| Vaste varkensmest  | 0.08 |
| Weidemest melkvee  | 0.04 |
| Zeugendrijfmest    | 0.01 |

---

\* Bron: Handboek Bodem en Bemesting (CBAV, 2017)

# Bijlage C

Groeiseizoenen van de gewassen om te bepalen in welke maanden de bodem bedekt is met vegetatie (aangegeven met 1).

|                       | Januari | Februari | Maart | April | Mei | Juni | Juli | Augustus | September | Oktober | November | December |
|-----------------------|---------|----------|-------|-------|-----|------|------|----------|-----------|---------|----------|----------|
| Aardbeien             |         |          |       |       | 1   | 1    | 1    | 1        | 1         | 1       |          |          |
| Ander fruit           |         | 1        | 1     | 1     | 1   | 1    | 1    | 1        | 1         | 1       | 1        | 1        |
| Ander gewas           |         |          |       |       |     | 1    | 1    | 1        | 1         |         |          |          |
| Ander graangewas      |         |          |       |       |     | 1    | 1    | 1        | 1         |         |          |          |
| Andere groenten       |         |          |       |       | 1   |      | 1    | 1        | 1         | 1       |          |          |
| Andere zaden          |         |          |       |       | 1   |      | 1    | 1        | 1         |         |          |          |
| Appels                | 1       | 1        | 1     | 1     | 1   |      | 1    | 1        | 1         | 1       | 1        | 1        |
| Bladgroenten          |         |          |       |       |     | 1    | 1    | 1        | 1         | 1       |          |          |
| Bollen                |         |          |       | 1     |     | 1    | 1    | 1        | 1         |         |          |          |
| Boomkwekerij          | 1       | 1        | 1     | 1     |     | 1    | 1    | 1        | 1         | 1       | 1        | 1        |
| Braak                 |         |          |       |       |     |      |      |          |           |         |          |          |
| Consumptieaardappel   |         |          |       |       |     | 1    | 1    | 1        | 1         |         |          |          |
| Corn cob mix          |         |          |       |       |     |      | 1    | 1        | 1         | 1       |          |          |
| Courgette             |         |          |       |       |     | 1    | 1    | 1        |           |         |          |          |
| Grasland (natuurlijk) | 1       | 1        | 1     | 1     |     | 1    | 1    | 1        | 1         | 1       | 1        | 1        |
| Grasland (permanent)  |         | 1        | 1     | 1     | 1   | 1    | 1    | 1        | 1         | 1       | 1        | 1        |
| Grasland (tijdelijk)  | 1       | 1        | 1     | 1     |     | 1    | 1    | 1        | 1         | 1       | 1        | 1        |
| Graszaad              | 1       | 1        | 1     |       | 1   | 1    | 1    | 1        | 1         | 1       | 1        | 1        |
| Groenbemester         | 1       | 1        | 1     |       |     |      |      |          | 1         | 1       | 1        | 1        |
| Haver                 |         |          |       |       |     | 1    | 1    | 1        | 1         |         |          |          |
| Koolgroenten          |         |          |       |       |     |      | 1    | 1        | 1         | 1       |          |          |
| Luzerne               |         | 1        | 1     | 1     | 1   | 1    | 1    | 1        | 1         | 1       | 1        | 1        |
| Korrelmais            |         |          |       |       |     |      | 1    | 1        | 1         | 1       |          |          |
| Peren                 |         | 1        | 1     | 1     | 1   | 1    | 1    | 1        | 1         | 1       | 1        | 1        |
| Peulvrucht            |         |          |       |       |     | 1    | 1    | 1        |           |         |          |          |
| Pompoen               |         |          |       |       |     |      | 1    | 1        | 1         |         |          |          |
| Pootaardappel         |         |          |       |       |     | 1    | 1    | 1        | 1         |         |          |          |

|                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Miscanthus          | 1 | 1 | 1 |   | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Prei                |   |   |   |   |   | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |   |   |
| Raapzaad            |   | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |   |   |   |   | 1 |
| Rogge               |   |   |   | 1 |   | 1 | 1 | 1 |   |   |   |   |   |
| Suikerbiet          |   |   |   |   |   | 1 | 1 | 1 |   | 1 | 1 |   |   |
| Triticale           |   |   |   |   |   | 1 | 1 | 1 | 1 |   |   |   |   |
| Ui                  |   |   |   |   |   | 1 | 1 | 1 | 1 |   |   |   |   |
| Vezels              |   |   |   |   | 1 |   | 1 | 1 | 1 |   |   |   |   |
| Voederbiet          |   |   |   |   |   |   | 1 | 1 | 1 | 1 |   |   |   |
| Snijmais            |   |   |   |   |   |   | 1 | 1 | 1 | 1 |   |   |   |
| Wijngaard           |   | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Wilgen              |   | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Wintergerst         | 1 | 1 | 1 | 1 |   | 1 | 1 | 1 |   |   |   | 1 |   |
| Wintertarwe         | 1 | 1 | 1 | 1 |   | 1 | 1 | 1 |   |   |   | 1 |   |
| Witlof              |   |   |   |   | 1 |   | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |   |   |
| Wortel/knolgroenten |   |   |   |   |   | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |   |   |   |
| Zetmeelaardappel    |   |   |   |   | 1 |   | 1 | 1 | 1 |   |   |   |   |
| Zomergerst          |   |   |   |   |   | 1 | 1 | 1 | 1 |   |   |   |   |
| Zomertarwe          |   |   |   |   |   | 1 | 1 | 1 | 1 |   |   |   |   |
| Zonnebloem          |   |   |   |   |   | 1 | 1 | 1 | 1 |   |   |   |   |

