

Monitoringsstrategie Bodem C naar 2030

DATUM

24 JUNI 2019

AUTEURS

Jan Peter Lesschen, Petra Rietbergen (CLM), Bo Stout (CLM), Jordy van 't Hull, Martin Knotters en Thalisa Slier

ADRES

P.O. Box 47
6700 AA Wageningen

TELEFOON

+31 (0)317 484687

E-MAIL

janpeter.lesschen@wur.nl

VERSIE

1

STATUS

Concept rapportage

Samenvatting

In het ontwerp klimaatakkoord is vastgelegd dat de Nederlandse landbouwbodems in 2030 0.5 Mton CO₂ vastleggen. Deze vastlegging moet uiteindelijk tot uiting komen in de nationale emissierapportage om ook daadwerkelijk mee te kunnen tellen voor de reductiedoelstellingen. In de huidige monitoring worden echter de effecten van bodembeheer maatregelen nog niet meegenomen in het bepalen van de emissies/vastlegging in minerale bodems. Om dit in 2030 te kunnen realiseren is een aangepaste monitoringsstrategie van belang.

In deze studie zijn vier monitoringsstrategieën geëvalueerd:

1. Opschaling huidige praktijk bodem C-metingen per perceel
2. Opschaling bedrijfsdata en praktijkmodel resultaten
3. Nationale dataverzameling en modelberekening
4. Nationale schaal monitoring bodem-C (update LSK/CC-NL)

Met behulp van een SWOT analyse is beoordeeld wat de voor- en nadelen van de vier strategieën zijn. De voorlopige conclusies die daaruit getrokken kunnen worden is dat de derde optie voorlopig het meest geschikt lijkt voor het bepalen van emissies en vastlegging van koolstof in landbouwbodems voor de nationale Emissieregistratie. De voordelen van optie 3 zijn dat de basis data en een bodem C model grotendeels beschikbaar zijn. Ook voor Echter is er wel aanvullende informatie nodig betreft de implementatie van maatregelen.

Wanneer in het definitieve klimaatakkoord meer sturing vanuit de praktijk wordt afgesproken, dan zou optie 2 mogelijk de voorkeur hebben, aangezien deze direct gekoppeld is aan de praktijk van wat boeren doen. Hiervoor zijn echter wel investeringen in datakoppelingen vereist.

Optie 1 en 4, welke zich baseren op directe bodem metingen, hebben op dit moment niet de voorkeur voor monitoring door de grote meetonzekerheid waar tegenaan gelopen wordt. In veel van de gevallen ligt de relatieve verhoging van het organische stofgehalte binnen de foutmarge van de bodem C metingen, waardoor effecten lastig meetbaar worden. Echter metingen blijven wel nodig ter verificatie van de modeluitkomsten, en mogelijk zijn hier in de toekomst ook verbeteringen te verwachten, bijv. door directe metingen in het veld met NIR metingen, waardoor een groot deel van de onzekerheid wordt uitgemiddeld per perceel.

INHOUD

Samenvatting	2
1 Introductie	4
1.1 Achtergrond	4
1.2 Projectdoelstelling	4
1.3 Aanpak	4
1.4 Voorbeeld berekening aan te tonen verschil in bodem OS voor de te behalen doelstelling	5
2 Monitoringsstrategie	6
2.1 Introductie	6
2.2 SWOT analyse	6
2.3 Aanpak bodem C monitoring in andere landen	8
3 Conclusie	9
4 Aanbevelingen	10
Nationale monitoring	10
4.1 Nieuwe meettechnieken	10
5 Referenties	12
Bijlage I Inventarisatie van monitoringsstrategieën van verschillende landen	13
Bijlage II Samenvatting 'Monitoren met behulp van bestaande bodemmetingen'	15
Monsternamen & analysemethoden	15
Data-analyse	15
Criteria ter beoordeling van de strategie	15
Conclusie	18
Aanbevelingen en vervolgvragen	18

1 **Introductie**

1.1 Achtergrond

In het regeerakkoord is een forse broeikasgasemissie reductiedoelstelling voor 2030 opgenomen, waaronder een bijdrage van 1,5 Mton CO₂-eq voor slimmer landgebruik. Onder deze post vallen reducties in emissies uit veengronden, koolstofvastlegging in (landbouw)bodems en koolstofvastlegging in biomassa in bossen en natuur. De bijdrage van de landbouwbodems is in het ontwerp klimaatakkoord vastgesteld op 0.5 Mton CO₂. Voor het klimaatplan en de klimaatvelop worden nu allerlei plannen en acties opgezet om emissie reductie en vastlegging te stimuleren. Echter uiteindelijk moeten de effecten op bodem C van deze acties ook in de nationale emissierapportage terecht komen om daadwerkelijk mee te tellen voor de reductiedoelstellingen.

In de huidige monitoring van de Nederlandse landbouwbodems wordt er enkel gerapporteerd over emissies uit veen en moerige gronden en emissies en vastlegging in minerale bodems door veranderingen in landgebruik. Hiervoor worden landgebruikskarten gebruikt in combinatie met de bodem C voorraad die is gebaseerd op LSK data (uit periode 1995-2000) en de nationale bodemkaart.

De effecten van maatregelen op de bodem koolstofvoorraad onder akkerland of grasland worden nu echter nog niet meegenomen. De huidige methodiek voor rapportage van emissies en vastlegging in bodems, is op dit moment nog niet gedetailleerd genoeg om het effect van veel van de maatregelen met betrekking tot bodembeheer mee te nemen. Enerzijds omdat hiervoor de activiteiten data ontbreken, bijvoorbeeld het landbouwareaal onder een bepaald bodembeheer, en anderzijds omdat de (wetenschappelijke) kennis over de effecten op bodem C van die maatregelen nog niet bekend is. Landen hebben de tijd om hun rapportage systeem aan te passen, maar deze aanpassingen moeten ook *gereviewed* worden en nieuwe emissiefactoren of gebruik van een bodem C model dienen in principe wetenschappelijk gepubliceerd te zijn. Ook over de opzet van een mogelijke nieuwe monitoring dient nagedacht te worden: gaat deze uit van een nationale monitoring op vaste punten, op basis van nieuwe remote sensing technieken of op basis van bedrijfsgegevens?

Er is vanuit de overheid en het bedrijfsleven interesse in de relatie tussen maatregelen die individuele ondernemers nemen en het effect daarvan op bodemkoolstof en bodem gerelateerde emissies. Zo werkt het bedrijfsleven aan het ontwikkelen van systemen om de voetafdruk van landbouwproducten en -bedrijven inzichtelijk te maken. Mogelijk gaan de sector en/of de overheid boeren belonen voor het nemen van maatregelen voor koolstofopslag, en/of voor het effect dat (met die maatregelen) bereikt wordt. Het is daarom belangrijk om op tijd te starten met een verkenning hoe de monitoringstrategie en rapportage voor emissies en vastlegging van C in de bodem er in de toekomst uit moet zien.

1.2 Projectdoelstelling

In het regeerakkoord en daarop volgende ontwerp klimaatakkoord is C vastlegging in landbouwbodems opgenomen als bijdrage aan de reductiedoelstelling. Deze C vastlegging in bodems moet uiteindelijk ook tot uiting komen in de nationale emissie om mee te tellen voor de reductiedoelstelling. De doelstelling van dit project is het verkennen van monitoringstrategieën voor emissies en vastlegging van koolstof in landbouwbodems. In eerste instantie is deze gericht op de monitoring voor de nationale Emissieregistratie, maar ook zal aandacht worden gegeven aan monitoring op bedrijfsniveau om specifieke maatregelen te laten terugkomen in de nationale berekeningen.

1.3 Aanpak

Daarna is een verkenning en evaluatie uitgevoerd naar vier mogelijke strategieën voor het monitoren van bodem C, deze strategieën zijn:

1. Opschaling huidige praktijk bodem C-metingen per perceel
2. Opschaling bedrijfsdata en praktijkmodel resultaten
3. Nationale dataverzameling en modelberekening
4. Nationale schaal monitoring bodem-C (update LSK/CC-NL)

Deze strategieën zijn kort beschreven en daarna beoordeeld op een lijst van criteria en een SWOT (Sterkte, Zwakte, Kans en Bedreiging) analyse (Hoofdstuk 2). Deze analyse is echter nog niet volledig voor alle strategieën uitgevoerd, en vandaar dat de resultaten en conclusies ook voorlopig zijn.

In dit project is ook gekeken naar wat andere landen al meenemen in hun emissierapportages, met name de landen die onder het Kyoto Protocol al rapporteren of Cropland Management en/of Grazing land management. Landen die hiervoor gekozen hebben zouden in principe in meer detail over bodem C veranderingen onder akkerland en/of grasland moeten rapporteren. Deze analyse staat samengevat in Bijlage I.

Op basis van de eerste resultaten en de kennis die ook in aanpalende projecten van het Slim Landgebruik programma, zoals het project over Data ontsluiting (project 1.7) en ontwikkeling praktijktool bodem C (project 3.1) zijn eerste conclusies geformuleerd en worden ook aanbevelingen gegeven voor het vervolg (Hoofdstuk 3 en 4).

1.4 Voorbeeld berekening aan te tonen verschil in bodem OS voor de te behalen doelstelling

Eén van de redenen dat het monitoren van bodem C door metingen lastig is, is dat het gaat om een kleine verandering in bodem organische stof t.o.v. van een grote voorraad. Om dit te illustreren is in Box 1 uitgewerkt wat de reductiedoelstelling voor bodem C vastlegging met 0,5 Mton CO₂ per jaar in 2030 betekent voor de te meten verandering in bodem OS gehalte. Als we deze doelstelling verdelen over alle minerale landbouwgronden, dan gaat het om een absolute toename van het organische stofgehalte met 0.028%, zoals zichtbaar is in de berekening in box 1. Dit is dus een zeer klein verschil dat zeer moeilijk te meten zal zijn.

Box 1. Berekening benodigde toename organische stof gehalte bij een reductiedoelstelling van 0.5 Mton

Reductiedoelstelling	0,5	Mton CO ₂ /jaar in 2030
Totale CO ₂ vastlegging (2021-2030)	2,75	Mton CO ₂
Toename OS voorraad	1,50	Mton OS
Areaal minerale landbouwbodems	1,5	miljoen ha
Verandering OS voorraad per ha	1,00	ton OS/ha (in periode 2021-2030)
Gem. OS gehalte minerale bodem	4,24	% (op basis van CC-NL)
Gemiddelde bulkdichtheid	1,2	kg/dm ³
Gemiddelde OS voorraad	152,6	ton OS/ha (in laag 0-30 cm)
Verandering in OS voorraad	0,7	%
Nieuw OS gehalte	4,268	%
Toename OS gehalte	0,028	% punt

Een kanttekening hierbij is echter wel, dat het effect van maatregelen voor een individueel perceel groter zal zijn, en lang niet op alle hectares maatregelen genomen zullen worden. Echter als op de helft van al het akkerbouwareaal op minerale bodem een maatregel genomen zal worden, dan nog gaat het om een toename in OS gehalte van ruwweg 0,1%. Enerzijds is het dus lastig om zo'n klein verschil aan te tonen, aan de andere kant laat het ook zien dat het behalen van de reductiedoelstelling ook geen hele grote toenames in OS in de bodem vraagt, en dus wel realistisch is.

2 Monitoringsstrategie

2.1 Introductie

Voor het monitoren van veranderingen in koolstofvoorraden in landbouwbodems moet er onderscheid gemaakt worden tussen twee systemen:

- 1) monitoring op nationale schaal voor de emissieregistratie en nationale rapportage naar de EU en UNFCCC
- 2) monitoring op bedrijfsniveau, waarbij dit enerzijds inzicht aan de boer geeft hoe de koolstofbalans op zijn bedrijf veranderd, en anderzijds kan dit gebruikt worden voor rapportage in de keten, zoals opname in de Carbon Footprint berekening, voor het bepalen van mogelijke carbon credits of een minimale eis van een positieve bodem organische stofbalans.

De huidige LULUCF monitoring neemt op dit moment alleen veranderingen in C voorraad door landgebruiksveranderingen mee. De methodiek moet dus worden aangepast om ook het effect van de voorgestelde maatregelen op grasland en akkerland uit het klimaatakkoord mee te kunnen nemen. In deze studie zijn vier mogelijke monitoringsstrategieën voor bodem C verkend:

1. Opschaling huidige praktijk bodem C-metingen per perceel
2. Opschaling bedrijfsdata en praktijkmodel resultaten
3. Nationale dataverzameling en modelberekening
4. Alleen nationale schaal monitoring bodem-C (update LSK/CC-NL)

2.2 SWOT analyse

Voor iedere strategie is een (voorlopige) SWOT analyse uitgevoerd, om op die manier de voor- en nadelen van iedere strategie te benoemen (tabel 1)

Tabel 1. SWOT (Sterkte, Zwakte, Kans en Bedreiging) analyse voor de vier monitoringstrategieën

	Opschaling huidige bodem C metingen	Bedrijfsdata en praktijkmodel	Nationale data en modelberekening	Nationale schaal bodem C meting
Sterktes	<ul style="list-style-type: none"> • Grote database (>100000 analyses per jaar) • Geen extra administratieve lasten voor boeren 	<ul style="list-style-type: none"> • Geeft inzicht bij boeren • Kan goed worden gekoppeld aan praktijkdata (Kringloopwijzer, TeeltCentraal) 	<ul style="list-style-type: none"> • Eenvoudig en relatief goedkoop te organiseren • Inzicht in trends en effecten voor beleid 	<ul style="list-style-type: none"> • Statistisch en wetenschappelijk goede steekproef
Zwaktes	<ul style="list-style-type: none"> • Representativiteit • Beperkte bemonsterings- diepte (10 cm voor grasland) • Nauwkeurigheid metingen 	<ul style="list-style-type: none"> • Privacy en beschikbaar stellen van data • Vergt zeker voor akkerbouw verdere data-koppeling 	<ul style="list-style-type: none"> • Nationale data maatregelen beperkt beschikbaar, aanvullende dataverzameling nodig 	<ul style="list-style-type: none"> • Te weinig meetpunten voor aantonen doelstelling • Geen directe link met maatregelen en beleid
Kansen	<ul style="list-style-type: none"> • Aansluiting bij praktijk • Meekoppeling met andere bodem-analyses (P status etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Koppeling met initiatieven uit de sector (carbon footprints) 	<ul style="list-style-type: none"> • RVO verzamelt al steeds meer data • BIN kan ook bron voor data zijn 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoring andere bodemeigenschappen, beleidsdoelen • Meer geschikt als verificatie van modelberekeningen
Bedreigingen	<ul style="list-style-type: none"> • Verschillen tussen commerciële labs • privacy issues rondom data 	<ul style="list-style-type: none"> • Borging van de uitkomsten, zeker als er beloningen aangekoppeld worden 	<ul style="list-style-type: none"> • Afhankelijkheid van modellen en mogelijke mismatch met metingen 	<ul style="list-style-type: none"> • Uitkomsten zijn onzeker, pas aan het eind van periode resultaat

In Bijlage II is de voor strategie optie 1 samenvattend weergegeven hoe de strategie scoort op verschillende beoordelingscriteria. Om de voorlopige conclusie beter te kunnen onderbouwen zullen voor de overige 3 strategieën eenzelfde analyse aan de hand van beoordelingscriteria uitgevoerd worden.

Aan de hand van deze SWOT analyse lijkt de derde optie (nationale dataverzameling en modelberekening) voorlopig de meest geschikte optie om op korte termijn de monitoring voor bodem C in landbouwbodems op te nemen in de nationale emissieregistratie. De voordelen van optie 3 zijn dat de basis data en modelberekeningen grotendeels beschikbaar zijn. Echter is er nog wel aanvullende informatie nodig over de mate van implementatie van maatregelen.

Voor de modelberekeningen van de organische stofbalans in Nederland is RothC beschikbaar, welke eerder al succesvol is toegepast voor het opstellen van de koolstofbalans op Nederlandse schaal en nu ook voor de melkveehouderij sector is getest in een TKI project met FrieslandCampina. De meeste voorgestelde maatregelen uit het ontwerp klimaatakkoord kunnen met het RothC model, of andere vergelijkbare bodem C modellen, goed worden doorgerekend. De aanvoer van C naar de bodem vanuit gewasresten en organische meststoffen zijn belangrijke invoer parameters voor het model. Vanuit de basisregistratie percelen (BRP) is bekend welk gewas op welk perceel wordt geteeld, en sinds een aantal jaar worden ook de groenbemesters en vanggewassen geregistreerd. Veranderingen in bouwplan (meer rustgewassen) en landgebruik (bijv. meer grasland) kunnen dus automatisch worden gemodelleerd. De aanvoer van organische meststoffen wordt ook behoorlijk goed geregistreerd, alhoewel dat nu nog vooral in termen van N en P wordt uitgedrukt. In de Kringloopwijzer worden nu 10 verschillende dierlijke mestsoorten onderscheiden, en ook voor de akkerbouw zijn meerdere organische meststoffen in de bedrijfsmanagement software geregistreerd. Wat betreft scheuren van grasland en andere graslandbeheer maatregelen is nog wel aanvullende informatie nodig, net als voor mate van grondbewerking. Deze laatste categorie maatregelen is minder direct te modelleren. Daarnaast is over deze maatregelen is ook discussie in hoeverre ze daadwerkelijk tot lange termijn bodem C vastlegging bijdragen.

Als in het definitieve klimaatakkoord meer sturing vanuit de praktijk wordt afgesproken of vanuit het nieuwe GLB beleid na 2020 meer afgerekend gaat worden op bedrijfsniveau, dan zou uiteindelijk optie 2 (Opschaling bedrijfsdata en praktijkmodel-resultaten) mogelijk de voorkeur hebben. Aangezien dit direct gekoppeld is aan de praktijk van wat boeren doen en dit boeren ook beter inzicht geeft in het effect van hun handelen. Dit vergt echter nog wel een investering in datakoppelingen (bijv. de toevoeging van bodemanalyses aan bedrijfsmanagement systemen) en tevens ook koppelingen tussen sectoren voor de akkerbouw (het gaat om de gehele rotatie). Verder zijn hiervoor vanuit de sector nog wel bedenkingen omtrent delen van data geuit, waar dus duidelijke afspraken voor nodig zijn.

De twee opties die gebaseerd zijn op directe bodem metingen (optie 1 en 4), hebben op dit moment een te grote meetonzekerheid om op te kunnen sturen, er kan namelijk een behoorlijke variatie tussen jaren optreden en daarmee zijn de resultaten op korte termijn (<5 jaar) niet direct te relateren aan de genomen maatregelen. Voor het meten van het effect van veranderingen in (bodem)management op bodem C zijn metingen nodig over langere tijd, aangezien C vastlegging relatief langzaam gaat en het gaat om kleine verschillen t.o.v. van een grote bestaande voorraad. Daarnaast is er vaak grote ruimtelijke variatie in organische stof gehalte, zelfs binnen een perceel, die samenhangt met o.a. kleine hoogteverschillen, verschillen in drainage en aanwezigheid van veenlagen.

Een studie van Goidts et al. (2009) voor Wallonië laat zien dat de onzekerheid in het bepalen van bodem C voorraden behoorlijk is op landschapsschaal (20%). Deze onzekerheid zit hem vooral in de heterogeniteit van het landschap, maar ook in de herbemonstering binnen een veld. Dit laatste aspect kwam ook naar voren tijdens een onderzoek in Nederland, waarbij er behoorlijke verschillen waren tussen laboratoria en monsteropnemers. Daarnaast is er ook nog de foutmarge op de bodemanalyses in het laboratorium, deze kan, zeker voor bodems met een laag organische stofgehalte, ook 5-10% van de gemeten waarde zijn. De Wit et al. (2018) concluderen op basis van een analyse van bodem organische stof opbouw onder blijvend grasland ook dat er veel variatie in de metingen zit, waardoor maar 20-25%

van de variatie in OS gehalte verklaard kan worden door de leeftijd van het grasland. Voor optie 1 is nagegaan hoe groot de onzekerheid bij het meten van bodem C kan zijn (tabel 2).

Tabel 2. Nauwkeurigheid van bodem C praktijkmetingen. Betrouwbaarheid is de reproduceerbaarheid / de afwijking van het gemiddelde van het gemiddelde van alle metingen bij herhaalde metingen aan hetzelfde monster. Validiteit is de afwijking van de gemeten waarde t.o.v. de werkelijke waarde.

	Betrouwbaarheid	Validiteit	Voorbeeld: 2.2% gemeten, werkelijke waarde ligt tussen:
Lab 1	<±5%	5%	2.1% - 2.3%
Lab 2	±7%	±14%	1.85% - 2.53%

De meeste bodem C bevorderende maatregelen hebben een potentiële vastlegging van ruwweg 1-2 ton CO₂ per ha (Lesschen et al., 2012). Dit betekent over tien jaar een toename van 2,7 tot 5,4 ton C per hectare, wat overeenkomt met een relatieve verhoging van het OS gehalte met 3% tot 6%. Dit zit dus rond de foutmarge van de bodem C metingen (tabel 2). Alleen als er over langere tijd wordt gemeten of als er veel meer bodemmonsters worden genomen kan er wel met meer zekerheid een verandering worden vastgesteld.

In dat opzicht geeft een model een veel nauwkeuriger weergave van de verschillen tussen jaren en de trend, alhoewel het absolute niveau van de modelresultaten behoorlijk onzeker is. Daarmee is ook een modeluitkomst op dit moment nog niet geschikt voor absolute afrekeningen, bijv. betaling per ton vastgelegde CO₂. Mogelijk met nieuwe meettechnieken en frequentere en meer metingen per perceel (bijv. NIR metingen op een tractor) kan de onzekerheid in de bodemmetingen worden verkleind.

2.3 Aanpak bodem C monitoring in andere landen

Tijdens dit project is ook gekeken welke benadering andere landen al volgen. Een beperkt aantal landen heeft voor het Kyoto Protocol gekozen om ook Cropland Management of Grazing land Management mee te nemen in de doelstelling voor Kyoto. Deze landen zouden dus al deels een methodiek moeten hebben om het effect van maatregelen tot uitdrukking te laten komen in de National Inventory Reports. Op dit moment nemen echter nog maar zeer weinig landen expliciet het effect van maatregelen mee. De meeste landen hebben nog een Tier1 of Tier2 benadering met stock change factoren, maar een aantal landen heeft ook al een Tier3 model benadering (bijv. Denemarken, Verenigde Staten en Australië, zie Bijlage I). Alleen de NIR van Australië geeft expliciet weer dat bodemmaatregelen worden meegenomen. Een monitoring gebaseerd op directe verschilmetingen van bodemmonsters over tijd, wordt (nog) niet toegepast door landen. Uit bovenstaande kunnen we concluderen dat optie 3 (nationale dataverzameling en modelberekening) in dat opzicht goed aansluit bij de systematiek die andere landen toepassen.

3 Conclusie

De nationale emissieregistratie kan worden gebaseerd op bodemmetingen of modelberekeningen. Het rekenvoorbeeld in Box 1 laat zien dat voor het realiseren van de doelstelling van 0.5 Mton CO₂ vastlegging in 2030, het gaat om een zeer kleine toename in organische stofgehalte, die in de praktijk moeilijk aantoonbaar zal zijn. Een benadering op basis van modelberekeningen, gebaseerd en uiteindelijk geverifieerd op metingen, heeft daarom dit moment de voorkeur.

Op basis van de SWOT analyse die in dit project gemaakt is, lijkt monitoringstrategie optie 3, waarbij gebruik wordt gemaakt van nationale dataverzameling en modelberekeningen, de meest geschikte strategie is om op de korte termijn monitoring van bodem C in landbouwbodems op te nemen in de nationale emissieregistratie. Het bodem C model RothC lijkt hiervoor een geschikt model te zijn, deze is al eerder gebruikt om de organische stofbalans van Nederland op te stellen. Daarnaast is RothC in staat om de meeste voorgestelde maatregelen uit het ontwerp klimaatakkoord door te rekenen. Echter is wel aanvullende data nodig over de mate van toepassing van bodem C maatregelen. Deze strategie sluit ook aan bij hoe andere landen bodem C monitoren voor hun broeikasgasemissierapportages.

Wanneer uit het definitieve klimaatakkoord echter blijkt dat er meer sturing vanuit de praktijk wordt afgesproken, dan kan optie twee 'Opschaling bedrijfsdata en praktijkmodel-resultaten' mogelijk de voorkeur hebben, aangezien dit direct gekoppeld is aan de praktijk van wat boeren doen en dit boeren ook beter inzicht geeft van het effect van hun handelen. Ook de EU wil uiteindelijk graag naar een resultaat gebaseerde betalingen voor het toekomstige GLB beleid.

Optie 1 en 4 worden op dit moment niet gezien als de meest geschikte monitoring strategie, vanwege de grote meetonzekerheid bij de bodemanalyse, de representativiteit en onvoorspelbaarheid van de uitkomsten. Mogelijk kunnen deze beperkingen in de toekomst met nieuwe meettechnieken wel deels worden ondervangen.

4 Aanbevelingen

Nationale monitoring

In dit project zijn vier verschillende monitoring strategieën verkend. Deze strategieën kunnen los van elkaar worden gezien, maar hangen deels ook samen met elkaar of kunnen op termijn elkaar vervangen. Voor een monitoringstrategie op basis van modelberekeningen, zijn in eerste instantie ook bodemmetingen nodig voor de initialisatie. Daarnaast moeten de modeluitkomsten uiteindelijk ook geverifieerd worden op de lange termijn, hiervoor is uiteindelijk toch ook een nationale bodem C monitoring nodig. Op dit moment zijn de data beschikbaarheid en privacy issues nog een beperking voor monitoring op bedrijfsniveau, maar in de toekomst zouden deze aspecten wel opgelost kunnen worden en daarmee wel de basis kunnen vormen voor de nationale monitoring van bodem C veranderingen. Dit past ook in het proces van de emissierapportage, waarbij gestreefd wordt naar een geleidelijke verbetering, waarbij uiteindelijk de onzekerheid van de gerapporteerde emissie/vastlegging verkleind wordt.

Op basis van de voorlopige resultaten van Slim Landgebruik project 3.1 lijkt het RothC-model het meest geschikt voor monitoring op nationale schaal. Hiervoor moet de verkenning over databehoefte en – beschikbaarheid nader verfijnd worden. Op weg naar een operationeel systeem voor de monitoring van bodem C veranderingen in landbouwbodems zijn de volgende stappen nodig.

- Welke eisen moeten er aan de betreffende datasets gesteld worden qua databeschikbaarheid, datakwaliteit en -actualiteit, dekking & representativiteit, privacy, governance en administratieve lasten?
- Het testen van de koppeling van datasets (landbouwtelling, BRP, bodemdata, BIN data) aan de modelberekeningen.
- Het nationale monitoringsmodel wordt getest met geaggregeerde data; een deel van de datasets zijn al binnen WUR beschikbaar.
- Tenslotte wordt een routekaart opgesteld: Welke zaken moeten worden aangepakt om tot een functionerend systeem te komen en hoe zou dit kunnen?

De methodiek moet uiteindelijk worden opgenomen in de nationale LULUCF emissieregistratie.

Zeer recent zijn ook de IPCC 2019 guidelines verschenen, deze zijn een update van de 2006 guidelines die de basis voor de huidige nationale emissie-monitoring vormen. In deze nieuwe guidelines staan ook een aantal nieuwe criteria en aanbevelingen rondom bodem C monitoring. Ook wordt een nieuw simpel bodem C model voorgesteld dat voor nationale bodem C monitoring gebruikt kan worden. Voor een vervolg is het wenselijk dat voor iedere optie een nadere analyse volgt op basis van de recent gepubliceerde IPCC 2019 guidelines.

4.1 *Nieuwe meettechnieken*

Voor de optie nationale data verzameling en modelberekening (optie 3) lijkt het nog een uitdaging te zijn om data te verkrijgen betreft de toepassing van maatregelen. In de huidige data verzameling, met name de landbouwtelling, wordt nu zeer beperkt gevraagd naar de toepassing van bodembeheermaatregelen. Mogelijkheden zijn er in een eventuele uitbreiding van de landbouwtelling of via geaggregeerde data uit sectorrapportages. Remote sensing biedt ook kansen om te controleren of boeren bepaalde maatregelen toepassen, bijv. toepassing van vanggewassen en niet scheuren van grasland. De huidige versie van Groenmonitor¹ is hier ook al deels voor geschikt. Directe monitoring van bodem C via remote sensing lijkt nog niet mogelijk aangezien de techniek enkel op kale bodems toegepast kan worden.

Flexibiliteit in de te ontwikkelen methodiek van rapportage is wenselijk om zo de nieuwste technologieën te kunnen toepassen. Zo zijn er de laatste tijd verschillende nieuwe sensoren op de markt gekomen

¹ <http://www.groenmonitor.nl/>

waarbij bodemeigenschappen ter plekke kunnen worden bepaald. Deze sensoren werken op basis van Near Infrared (NIR) of Mid Infrared (MIR) technieken. Deze sensoren zouden in combinatie met precisielandbouw aan de tractor gemonteerd kunnen worden om daarmee het organische stofgehalte van een perceel in kaart te brengen. Op dit moment is deze techniek nog niet klaar voor grootschalige toepassing, maar de verwachting is wel dat dit binnen enkele jaren wel mogelijk moet zijn. Mocht deze techniek zich uiteindelijk hebben bewezen, qua kosten, onzekerheid, etc., dan zou op termijn ook een monitoring op basis van directe metingen de basis kunnen worden voor de nationale rapportage.

5 Referenties

Nog niet volledig

Goidts, E., Wesemael, B. v., & Crucifix, M. (2009). Magnitude and sources of uncertainties in soil organic carbon (SOC) stock assessments at various scales. *European Journal of Soil Science*, 60(5), 723-739.

Lesschen, J.P., H. Heesmans, J. Mol, A.M. van Doorn, E. Verkaik, I. van den Wyngaert, P.J. Kuikman. 2012. Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw en natuur. Alterra-rapport 2396, Alterra, Wageningen.

van Middelkoop, J. 2017. Soil carbon sequestration under old and new, grazed grassland in the Netherlands. Presentation at MACSUR Science Conference, Berlin.
<https://edepot.wur.nl/441339>

de Wit, J., van der Goor, S., Pijlman, J. en van Eekeren, N. 2018. Opbouw organische stof met blijvend grasland. *V-Focus*, april 2018, 32-2

Bijlage I Inventarisatie van monitoringsstrategieën van verschillende landen.

Country	C pools	Method	Cropland management (Art. 3.4)	Grassland management (Art. 3.4)
Denmark	Mineral soils, organic soils, biomass	Tier 3 for mineral soils: three-pooled dynamical soil carbon model (C-TOOL)		
Germany	Above and below ground biomass, dead wood, organic soils, mineral soils	Tier 2: national emission factor. Spreadsheet-program worksheet	All areas under CM are subject to periodic cultivation measures, and thus the pertinent emissions and removals are anthropogenic	All areas under GM are subject to periodic cultivation measures, and thus the pertinent emissions and removals are anthropogenic
Portugal	Mineral soil, organic soil, biomass, dead organic matter	Tier 2: Estimated soil emission factor were based on measurements	Gains in soils from areas under no-tillage were considered (section 6.3.1.5). This has resulted in increased carbon sequestration.	Sown biodiverse pastures are based on a diverse mixture of about twenty different species, many of which (approximately 30-50%) are legumes. These grasslands are more productive than the baseline land use system – spontaneous natural pastures. Productivity is accompanied by an increase in soil organic matter (SOM) and correspondent carbon sequestration.
Ireland	Biomass, dead organic matter, organic soil mineral soil	Tier 1 method: default emission factor and parameters		
Italy	Biomass, dead organic matter, organic soil, mineral soil	Tier 1 method		
UK	Biomass, dead organic matter, organic soil, mineral soil	Tier 3 method: Dynamic soil carbon model	Carbon stock change (CSC) in mineral soils as a result of cropland management is estimated using agricultural survey activity data and Tier 1 CSC factors for most activities except for tillage reduction (Tier 2). Carbon stock changes in biomass due to cropland management activities are estimated using literature-derived Tier 2 stock change factors and activity data from agricultural surveys.	Carbon stock changes in biomass due to grassland management activities are estimated using literature-derived Tier 2 stock change factors and activity data from agricultural surveys. These include changes in the length and condition of hedgerows.
United States	Mineral soil, organic soil, biomass	Tier 3 method: DAYCENT biogeochemical model	No cropland management mentioned	No grassland management mentioned

Country	C pools	Method	Cropland management (Art. 3.4)	Grassland management (Art. 3.4)
Australia	Biomass, mineral soil, organic soil	Tier 3 method: FullCAM model	Management practices <ul style="list-style-type: none"> • Total cropping area • Crop type and rotation • Stubble management • Tillage techniques • Fertiliser application and irrigation • Application of green manures • Soil ameliorants (application of manure, compost or biochar) 	Management practices <ul style="list-style-type: none"> • Total area under grasslands • Pasture management from fertilisers, irrigation and other inputs and seed selection • Grazing management practices • Woody biomass management • Fire management
New Zealand	Biomass, mineral soil, organic soil	Tier 2 method	None mentioned	None mentioned

Bijlage II Samenvatting 'Monitoren met behulp van bestaande bodemmetingen'

Monstername & analysemethoden

In deze strategie wordt bestaande data van agrarische laboratoria gebruikt. Bodemmonsters worden door de agrariërs zelf genomen of door medewerkers van de laboratoria.

De hoeveelheid bodemmonsters is afhankelijk van de perceelomvang en is vastgelegd in de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet. Deze monsters worden in een bepaald patroon verzameld met een bodemguts. Daarnaast kan een geaccrediteerd bemonsteringsprotocol van het laboratorium worden toegepast. In beide gevallen betreft het één mengmonster. De bemonsteringsdiepte op bouwland is over het algemeen 0-25 cm, terwijl de bemonsteringsdiepte op grasland over het algemeen 0-10 cm is.

Alle bevroegde labs bepalen het bodem organische stofgehalte en vier labs kunnen daarnaast bodem-C, totaal-C en/of organisch-C bepalen. Voor het bepalen van het OS gehalte wordt over het algemeen de gloeiverlies methode gebruikt. In één lab wordt de Near Infrared Spectroscopy (NIRS) toegepast. Wanneer de monitoringsstrategie wordt gebaseerd op het analyseren van bestaande bodemanalyses is gloeiverlies de beste methode, omdat daar in de meeste gevallen gegevens van beschikbaar zijn. Wanneer echter de koolstofvoorraad bepaald moet worden zijn ook het koolstofgehalte in OS en de bodemdichtheid van belang. Deze indicatoren worden niet standaard gemeten en dus ontbreekt hier een uitgebreide dataset voor.

Tabel 5. Beschikbare datasets van zes geaccrediteerde laboratoria voor bodemanalyse.

	Lab1	Lab2	Lab3	Lab4	Lab5	Lab6
OS of Bodem-C	OS en Bodem-C	OS	OS en Org-C, C/N, C/S ratio	OS	OS en Totaal-C	OS en Bodem-C
Methode	Gloeiverlies (eigen methode)	Gloeirest (NEN 5754: 2014)	Gloeiverlies en elementair (NIRS gekoppeld aan referentiemethode)	Gloeiverlies en sulfochromatische methode (grondmonsters sulfochromatisch ivm carbonaat)	Gloeiverlies 360 graden, bij alkalische gronden alternatief	Combinatie, hangt af van bodemsoort
Bemonsteringsdiepte	Afhankelijk van onderzoeker	Wettelijke richtlijnen, 10 cm gras en 10 of 25 cm bouwland	Bouwland 0-25/30 cm, gras 0-10 cm	Bouwland 0-25 cm, grasland 0-10 cm	0-20 cm	0-20/25 cm gras, 0-25 cm bouwland
Aantal monsters	100-500	Duizenden	80.000-100.000	1000	Circa 2500	Wordt niet vrijgegeven

Data-analyse

De meest voor de hand liggende analyse van de data is een gepaarde t-toets, waarbij alleen metingen worden meegenomen van percelen die herhaaldelijk zijn bemonsterd. Met behulp van deze test kan worden bepaald of er sprake is van een significante verandering in de koolstofvoorraad. Tevens zou er getoetst kunnen worden op de aanwezigheid van trends in de data over de tijd. Een non-parametrische test zou hiervoor geschikt zijn, waarbij de nulhypothese wordt getest waarin er geen structuur in de data zit, tegenover de alternatieve hypothese dat er wel structuur in de data zit. Naast deze analyses moet er ook worden gecontroleerd welke interacties er zijn met grondsoort, landgebruik en regio.

Criteria ter beoordeling van de strategie

Nauwkeurigheid en onzekerheid

Onzekerheid ontstaat door monstername en de opeenvolgende laboratoriumanalyse en door residuele variantie.

De laboratoriumanalyse dient zowel accuraat als nauwkeurig te zijn (Box 2). Slechts twee labs gaven kwantitatieve informatie over de nauwkeurigheid (herhaalbaarheid) van de gloeiverliesmethode: deze is

2,5% van de gemeten waarde bij zand en 1,3% van de gemeten waarde bij klei² volgens het ene lab, en 'veel lager dan 5%' volgens het andere lab. Eén lab gaf aan dat ook de afwijking tussen de werkelijke waarde en de gemeten waarde minder is dan 5%.

Box 2. Definitie van de termen accuraat en nauwkeurig zoals gebruikt in dit onderzoek.

Accuraat: de afwijking tussen de gemeten waarde en de werkelijke waarde (meetfout). Een methode met een grote afwijking tussen gemeten en werkelijke waarde is weinig accuraat, een methode met een kleine afwijking tussen gemeten en werkelijke waarde is accuraat.

Nauwkeurig: de mate waarin resultaten overeenkomen bij herhaalde analyse van hetzelfde monster. Een methode met kleine verschillen tussen herhaalde analyse van hetzelfde monster is nauwkeurig, een methode met grote verschillen tussen herhaalde analyse aan hetzelfde monster is weinig nauwkeurig.

De aanwezige meetfout en onnauwkeurigheid van de laboratoriumanalyse maken het zeer lastig om op bedrijfs- of perceel niveau te kunnen meten of er een toename van koolstofopslag is gerealiseerd: de beoogde toename in organische stof om aan klimaatdoelstellingen te voldoen is relatief klein en ligt binnen het betrouwbaarheidsinterval van de analyse (zoals blijkt uit de antwoorden van de laboratoria).

Echter, bij een steekproef van voldoende grote omvang zou het wel mogelijk moeten zijn om conclusies te trekken over de gemiddelde verandering in organische stof: de onzekerheid rondom het gemiddelde organische stofgehalte wordt dan kleiner en er kan met meer zekerheid gezegd worden of het waargenomen verschil geen toeval is.

Om de doelstellingen voor koolstofopslag te bepalen is een absolute toename in organisch stofgehalte nodig in een ordegrootte van 0.02-0.04% (Lesschen & Rietberg, 2019). Zoals te zien is in de figuren 1a-c neemt de steekproefgrootte fors toe wanneer een absolute toename van 0.02-0.04% met zekerheid moet worden vastgesteld.

Ruimtelijke & temporele schaal

Vrijwel alle labs analyseren monsters uit heel Nederland. Het lab met de meeste analyses heeft gegevens beschikbaar sinds ongeveer 2008.

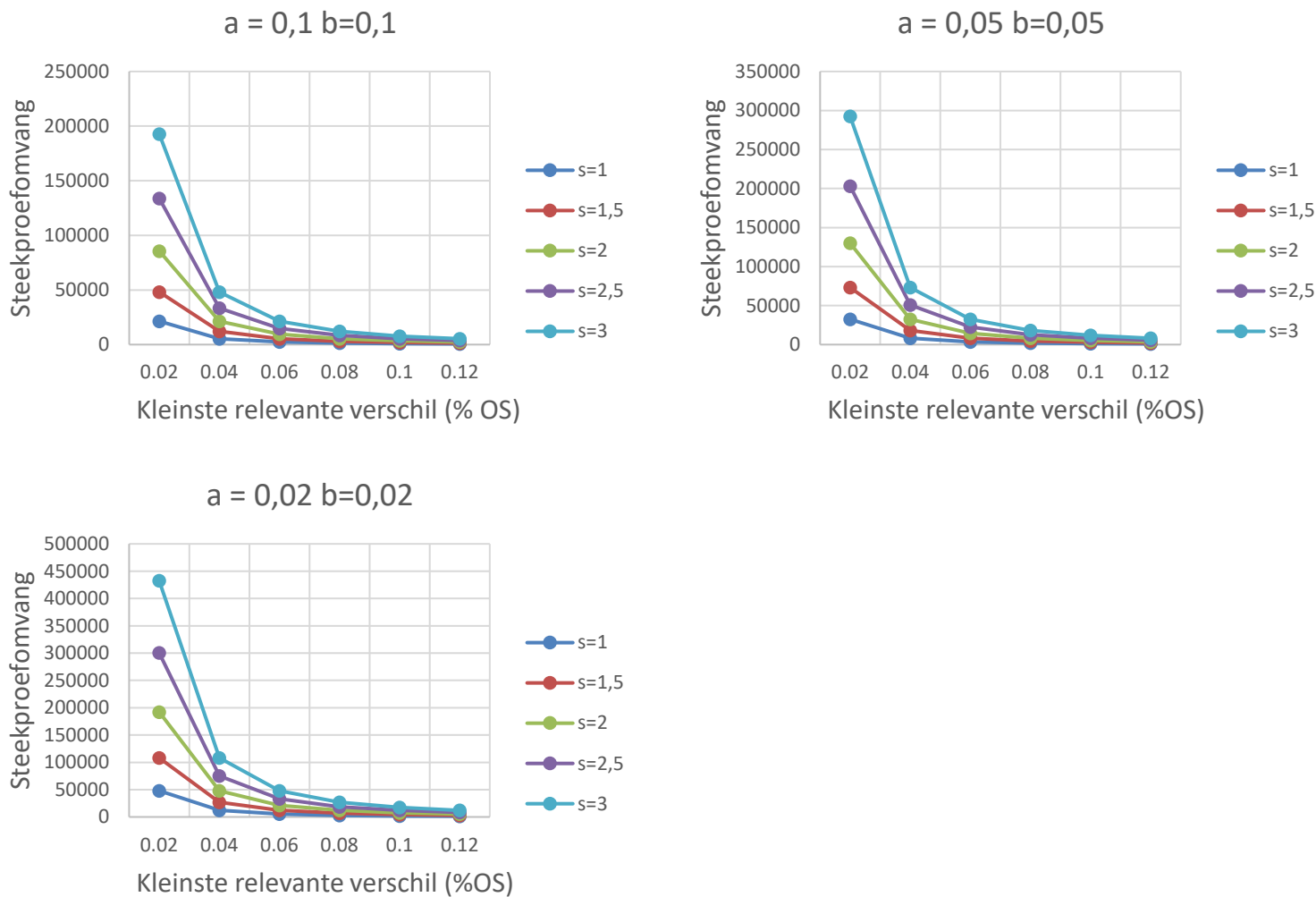
Beschikbaarheid van gegevens

Jaarlijks worden er minstens 85.000 monsters geanalyseerd. Er zijn geen aanwijzingen dat het aantal monsters dat wordt ingestuurd voor analyse de komende jaren sterk zal verminderen.

Representatie

De meeste laboratoria analyseren monsters uit alle sectoren. Aangezien monsters ingestuurd moeten worden voor de fosfaatwetgeving, is het aannemelijk dat de monsters een goede representatie zijn van de conditie van de bodem. Het is echter aannemelijk dat agrariërs die zich inzetten voor goed bodembeheer vaker aanvullende bodemanalyses laten uitvoeren dan zijn die dat niet doen. Dit zou kunnen leiden tot een bias richting monsters met een hoger OS gehalte.

² Zandgrond 2,81 ± 0,07%; kleigrond 12,17 ± 0,17%



Figuur 1 a-c. Benodigde steekproefomvang om bepaald verschil in organische stofgehalte waar te kunnen nemen met verschillende waarden voor alfa (a) en bèta (b). s=variantie van de verschillen.

Relatie met maatregelen en beleid

Aan de hand van de metingen kan worden bepaald of het beleidsdoel van koolstofopslag in landbouwbodems behaald is, maar de manier waarop is hier niet uit af te leiden. Daarnaast blijven ook de adoptiegraad en effectiviteit van de verschillende maatregelen buiten beeld. Om die koppeling te maken moeten meerdere gegevens beschikbaar zijn over het management van de percelen waarop bemonsterd is.

Uitwisseling

De bodemanalyses worden beheerd door commerciële laboratoria. Deze hebben over het algemeen aangegeven te willen meewerken aan het verstrekken van gegevens voor nationale monitoringsstrategieën. Echter moet wel worden gekeken welke privacywetgeving van toepassing is op het gebruik van bodemanalysegegevens voor nationale monitoring.

Benodigde middelen & capaciteit

De benodigde middelen voor deze monitoringsstrategie zijn relatief klein, aangezien er gebruik wordt gemaakt van beschikbare gegevens. De kosten en tijd gaan met name naar het verder uitwerken van de strategie en het selecteren en analyseren van de gegevens.

Conclusie

De grootste voor- en nadelen van de strategie Opschaling huidige praktijk bodem C-metingen per perceel' staan samengevat in tabel 6.

Tabel 6. Beoordeling van de strategie Opschaling huidige praktijk bodem C-metingen per perceel' volgens acht criteria.

Criterium	Strategie: bestaande bodemgegevens gebruiken
Nauwkeurigheid & onzekerheid	+ zekerheid waarmee bepaalde conclusie getrokken wordt kan aangegeven worden - beleidsdoel is beperkte toename t.o.v. aanwezige koolstofvoorraad, dus relatief lastig te meten
Schaal	+/- data op perceelsniveau beschikbaar, maar soms grote percelen - niet geschikt voor monitoring op bedrijfsniveau
Beschikbaarheid van gegevens	+ jaarlijks minimaal 85.000 bodemmonsters waarin vaak OS wordt bepaald - gegevens over dichtheid en C-gehalte van organische stof ontbreken
Representatie	+ bodemmonsters uit heel Nederland +/- onduidelijk of er een bias is in ingestuurde monsters
Relatie maatregelen & beleid	+ duidelijke link met werkelijke bodemkoolstofvoorraad - link met getroffen maatregelen ontbreekt
Uitwisseling	+/- private partijen bereid tot samenwerking, afspraken nodig
Benodigde middelen en capaciteit	++ kosten worden al gemaakt, enkel kosten voor datacontrole & -analyse nodig

De belangrijkste voordelen zijn:

- + Met deze strategie is het mogelijk iets te zeggen over de zekerheid waarmee de toename in organische stof wordt vastgesteld, en de kans op een onjuiste conclusie
- + De strategie zorgt voor een directe link tussen het beleidsdoel en hetgeen gemonitord wordt, en is niet afhankelijk van een set aannames
- + De strategie is goedkoop

De belangrijkste knelpunten zijn:

- De beoogde toename in organisch stofgehalte (het beleidsdoel) is relatief klein ten opzichte van de voorraad organische stof, wat het moeilijk (maar volgens deze verkenning wel haalbaar) maakt deze goed waar te nemen
- Hierdoor, en door de te verwachten onnauwkeurigheid in de meting, zijn veel monsters nodig voor een goede analyse
- Om een koppeling te maken tussen getroffen maatregelen en de toename van organische stof zijn aanvullende gegevens nodig
- Deze strategie is minder geschikt voor monitoring op bedrijfsniveau

Aanbevelingen en vervolgvragen

De steekproefgrootte reageert zeer sterk op veranderingen in de parameters (σ_d , α , β en δ (beschreven in concept rapport strategie 1) en kan, afhankelijk van de gebruikte waardes, wel degelijk ruimschoots binnen het aantal jaarlijks geanalyseerde bodemmonsters komen te liggen.

Omdat er geen zekerheid is over de schatting voor σ_d en niet bekend is welke niveaus voor α , β en δ gewenst zijn, kan nu nog geen precieze uitspraak over de benodigde steekproef gedaan worden. Zodoende lijkt het waardevol om aandachtiger naar deze berekeningen te kijken, met name naar de inschatting van σ_d . De waarden voor α , β en δ worden gebaseerd op beleidskeuzes.

Het grootste laboratorium dat benaderd is verwerkt jaarlijks 80.000 tot 100.000 monsters. Een logisch vervolg zou zijn om in overleg met dit laboratorium de mogelijkheden te verkennen om:

- uit bestaande data een meer exacte inschatting te maken voor de parameter σ_d

- te verkennen welke dataselectie gemaakt kan worden voor een t-toets of non-parametrische regressieanalyse, en welke stratificatie daarbij passend is
- Daarmee kan worden ingeschat of de beoogde toename in bodem organische stof vastgesteld kan worden op basis van deze bestaande dataset.

Daarnaast is het wenselijk te exploreren in hoeverre aannames over het C-gehalte in organische stof en de bodemdichtheid voor onzekerheid in de bepaling van de koolstofvoorraad leiden.