

Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden 2019-2023

Voortgangsrapportage 2020

Chris Koopmans¹, Bart Timmermans¹, Janjo de Haan², Mieke van Opheusden¹, Isabella Selin Noren², Thalisa Slier² en Jan Paul Wagenaar¹

¹ Louis Bolk Instituut ² Wageningen University & Research





Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit

Dit project is gefinancierd door het ministerie van LNV in het kader van het klimaatbeleid

COLOFON

Dit rapport is tot stand gekomen binnen het Project 'Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden 2019-2023' binnen het kader van het programma Slim landgebruik.

© september 2020

Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden 2019-2023:

Voortgangsrapportage april 2020

35 pagina's en bijlagen

Chris Koopmans¹, Bart Timmermans¹, Janjo de Haan², Mieke van Opheusden¹, Isabella Selin Noren², Thalisa Slier² en Jan Paul Wagenaar¹

¹ Louis Bolk Instituut ² Wageningen University & Research

Voorwoord

Dit onderzoek is onderdeel van het programma Slim landgebruik en komt voort uit de klimaatdoelstelling van het ministerie van LNV om maatregelen te definiëren, te monitoren en te evalueren. Het doel is om zo binnen de sector landbouw en landgebruik in 2030 een vastlegging van 0,5 Mton CO₂-eq. Per jaar te realiseren als gevolg van het gebruik en beheer van land en bodem (voornamelijk op minerale gronden).

Bij de opzet en analyse hebben wij de medewerking gevraagd van diverse partijen en mensen. Allereerst betreft het hier de onderzoekers en beheerders van de betrokken experimenten die hun proefvelden beschikbaar hebben gesteld voor dit onderzoek. Ook zijn wij dankbaar voor de boeren die specifieke percelen beschikbaar stelden voor metingen aan de bodem. Het team medewerkers van Wageningen Research en het Louis Bolk Instituut heeft wederom onder zware en natte condities in het najaar van 2019 de bodems weten te bemonsteren. De medewerkers van Eurofins, WEnR, LBI en de Bodemkundige dienst van België hadden een flinke uitdaging met de vele monsters die aangeboden werden en geanalyseerd moesten worden. Tenslotte hebben diverse collega's in een of andere vorm bijgedragen met contacten, diverse voorbereidingen en analyse van data. Wij zijn eenieder zeer dankbaar voor zijn bijdrage die dit onderzoek, wederom in zeer korte tijd, mogelijk maakte.

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	10
2 Doelstellingen	12
3 Materiaal en methode	13
3.1 Metingen in LTE's van de effecten van maatregelen op de koolstof vastlegging en BLN-indicatoren	13
3.1.1 Maatregelen en LTE-locaties	13
3.1.2 Metingen aan de koolstofvastlegging en BLN-indicatoren	13
3.1.3 Datamanagement	14
3.1.4 Statistiek	15
3.2 Kengetallen organische stof aanvoer gewassen	16
3.3 Modelberekeningen van koolstofvastlegging met verbeterde gewasrotaties	16
3.4 Bodemverstoringsindex	17
3.5 Bepaling van de technische implementatiegraad	17
4 Resultaten	19
4.1 Metingen in LTE's van effecten van maatregelen op de koolstofvastlegging	19
4.1.1 Akkerbouw	19
4.1.2 Veehouderij	23
4.2 Metingen in LTE's van effecten van maatregelen op de BLN-indicatoren	26
4.3 Kengetallen organische stof aanvoer gewassen	26
4.4 Modelberekeningen van koolstofvastlegging met verbeteren gewasrotatie	28
4.5 Bodemverstoringsindex	31
4.6 Bepaling van de technische implementatiegraad	32
5 Vervolg	34
Referenties	35
Bijlage 1. LTE- Proefopzet beschrijvingen	36
Bijlage 2. Details Modelberekeningen vastlegging van CO₂ in de gewasrotatie	42
Bijlage 3. Matrix ten behoeve van de technische implementatie	44
Bijlage 4. Metingen aan de ondergrond in de LTE's	46
Bijlage 5. BLN-indicatoren	49

Samenvatting

Doel van dit onderzoek is het vaststellen van de effectiviteit van de koolstofvastlegging van landbouwkundige maatregelen, zoals beschreven in Lesschen et al. (2012) en Slier et al. (2019), onder Nederlandse condities. Daarmee draagt deze studie bij aan de in het klimaatakkoord vastgestelde doelstelling om vanaf 2030 0,5 Mton CO₂-eq emissie te reduceren door vastlegging van CO₂ in minerale landbouwgronden. Ook wordt in deze studie onderzocht in hoeverre het vastleggen van CO₂ in de bodems gepaard gaat met het behouden van- of verbeteren van de bodemkwaliteit en daarmee kan bijdragen aan duurzaam bodembeheer zoals verwoord in het Nationaal programma landbouwbodems.

In de maanden oktober – december 2019 is een meetcampagne uitgevoerd bij diverse Lange Termijn Experimenten verspreid over Nederland, op zowel zand als kleigronden, waarbij de bodem volgens een gestandaardiseerd protocol werd bemonsterd (Koopmans et al., 2019). De bodem koolstofmetingen zijn hierbij aangevuld met metingen aan de (BLN-) bodemindicatoren zoals beschreven in Hanegraaf et al. (2019). Een deelonderzoek richtte zich op het actualiseren van kengetallen zoals de effectieve organische stof aanvoer voor groenbemesters om zo een verbeterde inschatting te krijgen van de effectieve bijdrage van groenbemesters aan de koolstofvastlegging. Op basis van deze kengetallen en modelberekeningen zijn met het programma NDICEA de effecten van 'verbeteringen in het bouwplan' doorgerekend voor 4 akkerbouwgebieden. Tenslotte is de jaarlijkse CO₂ vastlegging berekend die technisch mogelijk zou zijn met de onderzochte maatregelen. Hiertoe is nagegaan op welk areaal landbouwgrond een maatregel technisch toegepast zou kunnen worden, de technische implementatie. Hierbij is geen rekening gehouden met bereidheid van de boer om de maatregelen daadwerkelijk toe te passen of sociaaleconomische omstandigheden die daarop van invloed kunnen zijn. Dit valt namelijk onder de praktische implementatie, wat geen deel uitmaakt van dit onderzoek.

De resultaten tonen geen effect van de maatregel 'niet-kerende grondbewerking' op de koolstofvastlegging onder Nederlandse condities. Dit bevestigt het beeld uit 2018 waarbij ook geen éénduidig effect van niet-kerende-grondbewerking op koolstofvastlegging werd waargenomen (Koopmans et al., 2019).

Voor de maatregel 'verbeteren van gewasrotaties' kan voorzichtig worden geconcludeerd dat gewasrotaties met 25% meer graan in het bouwplan leiden tot een hogere koolstofvastlegging in de bovengrond. Indicatief berekend voor een periode van 30 jaar had deze verhoogde vastlegging een grootte van 1,58 ton CO₂/ha/jaar. De resultaten geven geen aanleiding voor het aannemen van verschillen tussen zand en klei.

Het gebruik van mest en compost in plaats van kunstmest leidde tot een verhoging van het koolstofgehalte en de koolstofvoorraad in de bovengrond. De orde van grootte van de gemeten effecten is 0 – 4 ton CO₂/ha/jaar. Het is goed hierbij op te merken dat de hoeveelheden toegediende mest en compost binnen de wettelijke kaders vielen. Echter in de praktijk is mogelijk slechts beperkt ruimte voor 'extra' koolstofvastlegging uit mest en compost daar veel bedrijven mogelijk al aan een maximale wettelijke fosfaatgift zitten.

De maatregel 'leeftijd grasland verhogen', en daarmee het scheuren van grasland uitstellen, toont op de noordelijke kleigrond een significante toename in zowel het koolstofgehalte en de koolstofvoorraad van de bodem. Het gaat om een toename van 5,46 ton CO₂/ha/jaar. In de ondergrond leidde dit niet tot een toe- of afname in koolstof. Voor zandgronden werd geen toename in het koolstofgehalte of koolstofvoorraad in de laag 0-60 cm gevonden. Een mogelijke verklaring voor het ontbreken van een effect is het relatief hoge gehalte organische stof in de onderzochte percelen (3,5-3,9%). Mogelijk is

daarmee reeds sprake van een evenwicht en dient de potentie van met name armere zandgronden te worden onderzocht.

De eerste resultaten van de maatregelen op de (BLN-) bodemkwaliteitsindicatoren laten zien dat de maatregel 'niet-kerende grondbewerking' vooral effect heeft op de fysische bodemindicatoren zoals bodemdichtheid, indringingsweerstand en het watervasthoudend vermogen van de bodems. De maatregel 'verbetering gewasrotaties' door meer graan op te nemen in het bouwplan tendeeft naar een toename in de organische stof en een significante toename in de schimmel- en bacteriële biomassa evenals de oplosbare koolstof (HWC). De maatregel 'compost toevoegen' leidde tot een significante toename in de organische stof, HWC, stikstof, fosfaat en kalium in de bodem. Voor 'extra dierlijke mest toevoegen' zijn er vooral effecten op de organische stof en stikstof in de bodem. In het vervolg van dit project zal de analyse van de bodemkwaliteitsdata worden uitgebreid om verbanden tussen indicatoren, maatregelen en koolstofvastlegging beter aan te kunnen tonen.

Om de vastlegging van CO₂ bij aanpassingen in de gewasrotatie verder te kwantificeren zijn kengetallen voor de groenbemesters bladrammenas, gele mosterd, voederwikke, tagetes, japanse haver en italiaans raaigras bij verschillende zaaitijdstippen vastgesteld en tevens zijn deze vergeleken met de eerder vastgestelde kengetallen. De geüpdatet kengetallen liggen veelal binnen de range van de eerder vastgestelde kengetallen, m.u.v. Italiaan raaigras. Om de variatie in droge stof-productie over de tijd beter te begrijpen is nog verder inzicht nodig welke factoren directe invloed hebben.

Ook is een begin gemaakt met het ontwikkelen van een bodemverstoringindex waarmee inzicht verkregen kan worden in de intensiteit van bodemverstoring door grondbewerkingen. Voorlopige berekeningen tonen dat de bodem meer verstoord wordt met ploegen dan met gereduceerde grondbewerking. Door de index verder te ontwikkelen en te valideren is in de toekomst meer zicht mogelijk op hoe grondbewerking in verschillende teeltsystemen de koolstofvastlegging kan beïnvloeden.

De resultaten van de modelberekeningen naar de maatregel 'verbeteren gewasrotaties', laat zien dat in de vier onderzochte regio's met 'extra graan in combinatie met de inzet van groenbemesters' vastlegging van CO₂ kan worden gerealiseerd. De extra vastlegging van CO₂ van deze aanpassing verschilde nogal per regio's maar was gemiddeld over de regio's 1,70 ton CO₂/ha/jaar (0,92 tot 2,66 ton CO₂/ha/jaar). Dit stemt nagenoeg overeen met de gemiddelde vastlegging van 1,58 ton CO₂/ha/jaar als gevolg van extra graan in het bouwplan zoals gemeten in de LTE's. De kosten van de aanpassingen verschillen per regio en zijn inzichtelijk gemaakt in het Bodem & Klimaat netwerk akkerbouw (Janmaat en Koopmans, 2020).

De resultaten van de technische implementatiemogelijkheden tonen dat met name maatregelen die niet per definitie gewas-specifiek zijn op een grote oppervlakte kunnen worden toegepast, en daarmee een hoge technische implementatiegraad kennen. Dit betreft de maatregelen niet-kerende grondbewerking (86% op klei en 91% op zand) en dierlijke mest en compost toevoegen (93%, zowel op zand als klei) voor de akkerbouw. In de veehouderij kent de maatregel dieper wortelende gewassen - kruidenrijk grasland een hoge technische implementatiegraad (22% op klei en 31% op zand).

De in 2018 (Koopmans et al., 2019) en in deze studie onderzochte maatregelen naar vastlegging van CO₂ in de bodem, zijn gecombineerd met de technische implementatie om te bepalen hoeveel kton CO₂ er jaarlijks maximaal kan worden vastgelegd in de Nederlandse minerale landbouwbodems. Op grond van de in deze studie verzamelde gegevens is een totale maximale vastlegging van 1316 kton CO₂ per jaar berekend (tabel 1). Dit is een eerste aanzet: de getallen dienen door vervolgmetingen verder te worden verijnd en aangevuld. Het is belangrijk hierbij te realiseren dat het gaat om een berekening op grond van de technische implementatie. De werkelijke implementatie zal altijd lager liggen door diverse omstandigheden (praktisch, fysiek, sociaaleconomisch).

Tabel 1. Berekende maximale potentie van CO₂-vastleggend maatregelen. De basis vormde de gemeten effectiviteit in de Lange termijn experimenten gecombineerd met de technische implementatie mogelijkheden.

Maatregel	Effectiviteit (ton CO ₂ /ha/jaar)		Areaal technisch toepasbaar (ha)		Max. vastlegging kton CO ₂ /jaar
	Zand	Klei	Zand	Klei	
Akkerbouw					
Niet-kerende grondbewerking	0	0	450390	431807	0
Verbeteren gewasrotaties - extra graan	1,6	1,6	298253	261990	896
Dierlijke mest en compost toevoegen ¹	0,5/ton OS	0,5/ton OS	459254	467977	
Veehouderij					
Niet-kerende grondbewerking bij mais na grasland ²	0	0 - 2,5	75586	26438	
Leeftijd van grasland	0	5,5	118624	76447	420
totaal					1316

¹ Dierlijke mest en compost is berekend per ton organische stof die is toegediend. Hierbij is de vraag in hoeverre er mest is die extra kan worden toegevoegd, los van wat er nu reeds wordt gebruikt. Daarom is dit nog niet meegerekend in het totaal. Dit moet verder nagegaan worden in het project No-regret maatregelen

² Niet kerende grondbewerking bij maisteelt na meerjarig grasland is een speciaal geval, dat lang niet altijd als maatregel kan worden ingezet. Resultaten varieerden van 0 tot 2,5 ton/ha afhankelijk van methode van de methode van grondbewerking.

1 Inleiding

In 2019 is in het Nederlandse klimaatakkoord vastgesteld een emissiereductie van 3,5 Mton CO₂-eq per jaar te realiseren vanaf 2030. Voor landgebruik op minerale landbouwbodems is deze doelstelling 0,5 Mton CO₂-eq per jaar.

Dit onderzoek is onderdeel van het kennisontwikkelingsprogramma Slim Landgebruik dat bijdraagt aan de vraag hoe de sector het doel van 0,5 Mton CO₂-eq vastlegging per jaar in de bodem in 2030 kan realiseren.

De opgave vanuit het Nationaal programma landbouwbodems is om in 2030 alle landbouwbodems in Nederland duurzaam te beheren. Belangrijke indicatoren voor een goede bodemkwaliteit zijn koolstof en organische stof, maar ook andere fysische, chemische en biologische indicatoren spelen een rol voor een goede bodemkwaliteit.

Deze studie draagt bij aan het Nationaal programma landbouwbodems met de vraag in hoeverre het vastleggen van CO₂ in de bodem gepaard gaat met het behouden van of verbeteren van de bodemkwaliteit. Zo wordt direct bijgedragen aan de hierboven genoemde kwaliteitsaspecten rond een goede bodemkwaliteit.

De kennis en onderbouwing van de effectiviteit van landbouwkundige maatregelen om koolstof vast te leggen in de bodem is nog beperkt voorhanden. De effecten onder Nederlandse condities, met relatief intensieve bouwplannen, ontbreken. Beschikbare literatuur is veelal gebaseerd op metingen in het buitenland en om die reden minder toepasbaar. In het eerste jaar van deze studie in 2018, is de potentie van klimaatmaatregelen op twee manieren aangelopen: via literatuuronderzoek en via analyse van Lange Termijn Experimenten (LTE's). Het literatuuronderzoek (Slier et al. 2019) geeft aan dat de geschatte potentie van maatregelen uit de zogenaamde Tabel Lesschen (Lesschen et al. 2012), welke is geschat op een vastlegging van 1,0 Mton CO₂-eq, qua orde van grootte goed is. Slier et al. (2019) komen daarnaast tot de conclusies dat het implementatiepercentage van maatregelen zoals gehanteerd door Lesschen et al. (2012) grote onzekerheid bevat en dat het aantal waarnemingen aan maatregelen in Nederland beperkt is. Hierdoor is het moeilijk om aan de hand van literatuuronderzoek een definitieve uitspraak te doen over potenties van maatregelen.

In het onderzoek in Lange Termijn Experimenten (Koopmans et al., 2019) is voor een beperkt aantal maatregelen en in een beperkt aantal LTE-behandelingen het effect van maatregelen op de koolstofvastlegging in de bodem gemeten. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen maatregelen geschikt voor toepassing in de akkerbouw en die voor de veehouderij. Daarnaast is het effect van de maatregelen op zand- en op kleigronden onderscheiden. Maatregelen met een hoge potentie voor koolstofvastlegging uit dit eerste jaar bleken 'Leeftijd van grasland verhogen (niet scheuren)', 'Het verbeteren van gewasrotaties', 'Compost toevoegen' en 'Dierlijk mest toevoegen'. Elk van deze maatregelen kent echter nog vele onzekerheden en ook zijn er beperkingen, door o.a. wetgeving en eventuele financiële gevolgen voor de ondernemer.

Het is belangrijk om de maatregelen nader te onderbouwen vooral waar de potentie voor koolstofvastlegging groot lijkt te zijn maar de onzekerheden rond de effectiviteit van de maatregel eveneens. Meer verdiepend onderzoek is daarom nodig om de bijdrage van de uiteenlopende maatregelen verder te kwantificeren. Daarbij lag de focus in 2019 op de verdere onderbouwing van de meest perspectiefvolle maatregelen. De aanpak was daarbij afgestemd op de beschikbare LTE's en de mogelijkheden in uitvoering die met deze experimenten samenhang.

Aangezien de beleidsopgave breder is dan koolstofvastlegging alléén en ook het duurzaam beheren van landbouwbodems in 2030 omvat, is in het onderzoek aangesloten bij de systematiek voor bodemkwaliteitsbeoordeling van landbouwgronden in Nederland (BLN). Hiertoe is van alle onderzochte maatregelen ook het effect gemeten op de bodemkwaliteitsindicatoren (BLN-indicatoren) aansluitend bij Hanegraaf et al., (2019). In eerste instantie met als doel om daar data voor te verzamelen van verschillende gronden en inzicht te krijgen of de koolstofvastlegging van invloed is op de ontwikkeling van de bodemkwaliteitsindicatoren uit de BLN. In dit onderzoek lag daarbij de focus op het verzamelen van de data. In latere jaren zal daar verdere analyse van data plaats moeten vinden.

2 Doelstellingen

Doel van dit onderzoek is het vaststellen van de effectiviteit van de koolstofvastlegging van landbouwkundige maatregelen, zoals beschreven in Lesschen et al. (2012) en Slier et al. (2019), voor de Nederlandse condities en op basis van metingen in kg CO₂ per ha per jaar. Het gaat hierbij zowel om de koolstofvastlegging van individuele maatregelen (focus 2019) als om de combinatie van maatregelen en de volhoudbaarheid daarvan (focus 2020 en verder). De focus in dit 2019 onderzoek ligt op maatregelen die tot op heden nog onvoldoende zijn onderbouwd en gekwantificeerd. Tevens is het doel om de effecten van deze maatregelen op de bredere bodemkwaliteit te bepalen: hoe beïnvloeden de maatregelen de bodemindicatoren uit de BLN en koppelen deze maatregelen naast koolstofvastlegging positief mee richting een duurzaam beheer van de bodem. In combinatie met de technische toepasbaarheid van de maatregelen in Nederland, welke in paragraaf 4.6 verder is uitgewerkt, kan zo de basis worden gelegd om in het vervolg te kunnen vaststellen of de doelstelling van de 0,5 Mton CO₂-reductie per jaar in de landbouwpraktijk op minerale bodems in Nederland technisch mogelijk is.

3 Materiaal en methode

3.1 Metingen in LTE's van de effecten van maatregelen op de koolstof vastlegging en BLN-indicatoren

3.1.1 Maatregelen en LTE-locaties

In 2019-2020 is de focus gelegd op metingen aan de volgende maatregelen:

- Niet-kerende grondbewerking (NKG) in bouwland
- Verbeteren gewasrotaties
- Compost toevoegen
- Dierlijke mest toevoegen
- Leeftijd van grasland verhogen (Niet-scheuren)
- Mais-gras wisselteelt: permanent versus wisselteelt

In Tabel 3.1 staan de LTE-proeflocaties vermeld waar in het najaar en winter van 2019-2020 is gemeten. In een experiment naar grondbewerking om het dieper wortelen van gewassen mogelijk te maken is een 0-meting verricht. Hierbij kunnen nog geen conclusies omtrent de potentie van koolstofvastlegging worden verbonden.

Tabel 3.1. Geselecteerde maatregelen en de Lange Termijn Experimenten waarin deze gemeten zijn.

Akkerbouw	Klei	Zand
Niet-kerende grondbewerking	Lelystad WUR – Flevoland Rumbeke-Beitem - Vlaanderen	Vredepeel - Limburg
Verbeteren gewasrotaties	Bedrijven - Zeeland Bedrijven - Flevoland	LTE-bedrijven - Brabant
Compost toevoegen	Lelystad WUR – Flevoland Lelystad LBI - Flevoland	Vredepeel - Limburg
Dierlijke mest toevoegen	Lelystad LBI - Flevoland	
Veehouderij	Klei	Zand
Niet-kerende grondbewerking		Marwijksoord - Drenthe
Leeftijd van grasland (niet scheuren)	Bedrijven - Friesland	LTE-bedrijven - Brabant
Mais-gras wisselteelt		LTE-bedrijven – Brabant & Gelderland
Dieper wortelen gewassen		Helvoirt - Brabant

De afwenteling zoals naar de emissie van lachgas is ondergebracht in een separaat project binnen het programma. De details van de verschillende LTE's en proefopzetten zijn beschreven in Bijlage 1.

3.1.2 Metingen aan de koolstofvastlegging en BLN-indicatoren

In de maanden oktober – december 2019 is een meetcampagne uitgevoerd waarin bodemmetingen volgens een gestandaardiseerd protocol (Koopmans et al., 2019) zijn verricht. Op elke locatie (Figuur 3.1) zijn de metingen uit Tabel 3.2 verricht die aansluiten bij bepaling van de koolstofvastlegging uit het jaar 2018-2019 (Koopmans et al., 2019) en de BLN-indicatoren uit de studie van Hanegraaf et al. (2019):

- Monsternamen voor bodemkoolstof op 2 diepten: 0-30 cm en 30-60 cm (volgens protocol Koopmans et al., 2019).
- Chemische, fysische en biologische BLN-indicatoren voor de laag 0-30 cm (monsternamen volgens protocol Koopmans et al., (2019) analyse volgens Hanegraaf (2019);
- Bepaling van de bulkdichtheid met 100 cc ringen in verticale wand in een profielkuil (3 stuks op 15 cm en 3 stuks op 45 cm) en watervasthoudend vermogen (op 15 cm) op basis van onderdruk in pF-bakken bij de Bodemkundige dienst van België met metingen bij pF 0, 2, 2.7 en 4.2;
- Bodemweerstand meting met behulp van een penetrologger tot een diepte van 90 cm;
- Bodemscan aan de hand van een profielkuil tot 60 cm diepte volgens standaardprotocol (Koopmans et al., 2019).



Figuur 3.1 Weergave van de LTE-onderzoeklocaties van de verschillende maatregelen.

3.1.3 Datamanagement

Ten behoeve van een volledige dataset over de tijd is het van belang om de verzamelde data binnen het project te beheren. Er is gekozen voor een aanpak waarbij de data uit zowel de LTE's als de verschillende netwerken op een gestandaardiseerde manier worden beheerd. Componenten die hierin zijn opgenomen zijn als volgt:

- Perceelinformatie
- Specificatie maatregelen
- Minimale dataset
 - Organische stof
 - Fysische bodemeigenschappen
 - Chemische bodemeigenschappen
 - Biologische bodemeigenschappen
- Aanvullende data betreft bodemeigenschappen
- Bodemscan

Met een vooruitblik naar het programma Slim Landgebruik 2020-2023 worden de data uit 2018 toegevoegd aan de dataset van 2019. Door voor ieder project eenzelfde opbouw en indeling te handhaven kunnen ook toekomstige verzamelde data in hetzelfde bestand worden geüpload. Hiermee ontstaat een volledige database welke inzicht verschaft over het effect van maatregelen over de tijd. Doordat voor ieder Slim Landgebruik project waarin data volgens de BLN-indicatoren worden verzameld op een vergelijkbare manier wordt beheerd, zijn datasets na verloop van tijd goed met elkaar samen te voegen. Hierdoor ontstaat een breed draagvlak, waarmee toekomstige vragen betreffende organische stofgehalte en/of bodemkwaliteit als effect van klimaatmaatregelen beantwoord kunnen worden.

Naast aansluiting bij de BLN-indicatoren is er tevens gekeken naar de aansluiting bij modellen waarmee de koolstofvastlegging kan worden berekend, alsmede de nutriënten in de bodem, zowel op bedrijfsniveau als nationaal niveau. Modellen die hiervoor leidend zijn geweest zijn RothC en NDICEA. In de lopende projecten wordt gewaarborgd dat de data die als input dienen voor deze modellen zo nauwkeurig mogelijk worden verzameld.

Tabel 3.2 Koolstof en BLN-indicatormetingen verricht binnen de studie welke aansluiten bij de metingen en protocollen van Koopmans et al. (2019) en Hanegraaf et al. (2019).

Bereik	Indicator	Methode	Laboratorium
Koolstof & organische stof	C-elementair	Elem. analyse ¹	Eurofins
	C-totaal	1150 °C ²	Eurofins
	Organische stof	NIRS ³	Eurofins
Fysisch	Organische stof-gloeiverlies	Gloeiverlies ⁴	Eurofins
	Textuur (klei/silt/zand)	NIRS	Eurofins
	Watervasthoudend vermogen	pF bak	BDB
	Bulkdichtheid	Ringen 100 cc	BDB/LBI
	Weerstand	Penetrologger	LBI/WUR
Chemisch	Nmin		Eurofins
	N-totaal	Dumas-Klassiek	Eurofins
	pH-ClCl ₂	ClCl ₂ -extr.	Eurofins
	P-voorraad (P-AI)		Eurofins
	P-beschikbaar	ClCl ₂ -extr.	Eurofins
	Pw	berekening	Eurofins
	K-CEC	NIRS	Eurofins
	K-beschikbaar	ClCl ₂ -extr.	Eurofins
Biologisch	HWC	Extractie	WenR
	Pot min. N (PMN)	NIRS	Eurofins
	Microbiële biomassa	NIRS	Eurofins
	Microbiële activiteit	NIRS	Eurofins
	Schimmelbiomassa	NIRS	Eurofins
	Bacteriële biomassa	NIRS	Eurofins
Visuele	Bodemscan	Visueel	LBI/WPR
Beoordeling			

¹ Soil organic carbon (SOC elementaire C analysis gevolgd door droge verbranding (Yeomans and Bremner, 1991; Soon and Abboud, 1991, ISO 10694). Internal classical code = COR6

² Total Carbon: SOC + inorganic carbon. Verbranding bij 1150 °C (NEN 15936). Internal classical code = CTT6

³ Near Infra Red Spectroscopy

⁴ Gloeiverlies bij 550 °C (NEN 5754, 2005). Internal classical code = GLV1

3.1.4 Statistiek

De statistiek in dit onderzoek is uitgevoerd met behulp van R, in het programma RStudio (Versie 1.2.5033). Daarbij is bij LTE's met gelijke aantallen herhalingen per behandeling gebruik gemaakt van ANOVA's, en daar waar aantallen herhalingen niet gelijk waren van T-toetsen voor onafhankelijke steekproeven. Uitzondering hierop vormt de maatregel leeftijd grasland, waarbij een regressieanalyse is toegepast omdat de behandeling ook een numerieke waarde had (nl. gemiddelde leeftijd van de graslanden). Significantie is als volgt aangegeven:

*=p<0,10, benoemd als trend

**=p<0.05, benoemd als significant

***=p<0.01, benoemd als significant

Als post-hoc test is met least significant difference (lsd) gewerkt. Daarmee werden, in het geval van significante verschillen ($p < 0.05$) verschillende letters achter de getallen genoteerd, om te duiden welke behandelingen van elkaar verschilden. De koolstof voorraad is uitgerekend met een behandeling-specifieke bodemdichtheid per laag, indien de dichtheid significant verschild per behandeling. Indien dit niet het geval was is met de gemiddelde dichtheid van een LTE gerekend, per bodemlaag.

3.2 Kengetallen organische stof aanvoer gewassen

Het doel van dit deelonderzoek is om de kengetallen voor de effectieve organische stof (EOS) aanvoer van gewasresten en groenbemesters te actualiseren en waar nodig uit te breiden. Dit om een betere inschatting te kunnen maken van de potentie van verschillende typen organisch materiaal om bij te kunnen dragen aan organische stof vastlegging en koolstofvastlegging in de bodem. In 2019 is gefocust op de groenbemesters. Gepland is om in 2020 en daaropvolgende jaren de focus te leggen op gewasresten. Het werk in dit onderdeel bouwt voort op de literatuurstudie en metingen die in 2018 in kader van Slim Landgebruik zijn gedaan (zie de Haan, 2019).

De EOS-aanvoer wordt berekend door de droge stof (DS) productie te vermenigvuldigen met de humificatiecoëfficiënt (HC). De HC is de fractie van het organische stof (OS) die één jaar na toediening nog in de bodem aanwezig is. Voor groen plantmateriaal wordt momenteel een HC van 0,2 en 0,35 voor blad en wortel respectievelijk aangehouden. De literatuurstudie van 2018 is uitgebreid en vanaf oktober 2019 tot februari 2020 zijn veldbepalingen van de droge stof productie gedaan van meer dan tien typen groenbemesters op verschillende grondsoorten. Daarnaast is de HC bepaald voor blad en wortel van zes groenbemesters, tarwestro en blad van Engels raaigras door incubatieproeven uit te voeren waarbij koolstofrespiratie gemeten werd. Deze proef en de berekeningen is uitgevoerd volgens de methode beschreven door Rietra et al. (2019).

3.3 Modelberekeningen van koolstofvastlegging met verbeterde gewasrotaties

Aanpassingen in de rotatie kunnen op veel verschillende manieren, en de effecten ervan hangen af van de huidige rotatie. Om dit verder te kwantificeren, zijn er modelberekeningen gemaakt met het programma NDICEA versie 6.2.1. De berekeningen zijn uitgevoerd voor 4 akkerbouwgebieden in Nederland: Centrale Zeeklei Flevopolder, Centrale Zeeklei Noordoostpolder, Noordoostelijk Zand en Dalgebied en het Zuidoostelijk zandgebied. Voor elk van deze gebieden is een standaard (referentie) rotatie opgesteld (het meest voorkomend naar van Dijk et al., 2012 en met aanvullingen van Smit & Jager, 2018). Met behulp van de bovenstaande bronnen, maar ook met inbreng van experts, zijn voor elke regio een aantal alternatieve rotaties vastgesteld. De gedachte is daarbij als volgt geweest:

- Regiospecifieke alternatieve rotatie met meer graan
- Maximale inzet van groenbemesters daarbij
- Regiospecifieke alternatieve rotatie met 50% graan
- Maximale inzet groenbemesters daarbij
- Alternatieve rotatie met (regio specifieke) rustgewassen in plaats van extra graan.

De precieze rotaties staan in Bijlage 2. Gewasopbrengsten voor de berekeningen zijn genomen uit de KWIN-AGV (2018). Ook voor bemesting is gerekend met inzet van kunstmesthoeveelheden zoals aangegeven in de KWIN-AGV (2018). Voor opbrengsten van groenbemesters zijn de aangepaste kengetallen ingezet om tot de meest realistische

inschatting te komen. Dit betreft zowel bovengrondse als ondergrondse biomassa. De startgehalten voor de bodemparameters per regio zijn gebaseerd op de bodemanalyses van de bedrijfsnetwerken, voor het Zuidoostelijk zandgebied zijn deze gebaseerd op de metingen bij de LTE Bodemkwaliteit op zand en de bedrijven in Noord-Brabant voor de LTE-verbetering gewasrotaties. Een overzicht hiervan is weergegeven in Bijlage 2. De kwaliteit van bodemorganische stof is bij aanvang voor alle rotaties zoals in de standaard rotatie na langjarige toepassing. Alle berekeningen zijn uitgevoerd voor 1 en 2 maal de rotatie. De uitkomsten beschrijven de veranderingen in koolstofvoorraad en vastlegging van CO₂ in een periode van ongeveer 10 jaar na inzet van aanpassing in de rotatie.

3.4 Bodemverstoringsindex

In 2019 is begonnen met het ontwikkelen van een bodemverstoringsindex (BVI) waarmee inzicht verkregen kan worden in de intensiteit van bodemverstoring in teeltsystemen. De eerste versie van de index is in 2018 ontwikkeld (Jolink, 2018). In het najaar 2019 is informatie verzameld over de werking van de Amerikaanse STIR-index die opgebouwd is uit rijsnelheid, machine type, bewerkingsdiepte en percentage van verstoring van het bodemoppervlak (Claassen et al., 2018). Het onderdeel 'machine type' en bijbehorende wegingsfactoren zijn overgenomen voor gebruik in de BVI. De BVI is opgebouwd uit de onderdelen rijsnelheid, bewerkingsdiepte, contactoppervlak met de bodem in de werkrichting en machine type. Uit deze onderdelen staat momenteel machine type keer de werkdiepte gemiddeld voor ca. 60% van het BVI terwijl rijsnelheid en contactoppervlak allebei voor ca. 20% meewegen.

$$BVI = (\alpha * (\text{Machine index} * \text{Werkdiepte})) + (\beta * \text{Contactoppervlak}) + (\gamma * \text{Rijsnelheid})$$

Het BVI kan berekend worden per bewerking en vervolgens voor gewas en bouwplan. De index wordt momenteel berekend voor de Lange Termijn Experimenten naar grondbewerking uit de PPS Beter Bodembeheer (BASIS, Bodemkwaliteit op zand (BKZ) en Bodemkwaliteit Veenkoloniën (BKV)). Hiermee kunnen we o.a. zien of de BVI overeenkomt met de verwachte intensiteit van grondverstoring, de koolstofvastlegging of andere bodemparameters.

3.5 Bepaling van de technische implementatiegraad

De jaarlijkse CO₂ vastlegging zoals wordt bepaald in deze studie wordt weergegeven in ton CO₂ per hectare. Om te bepalen hoeveel CO₂ er in het totale oppervlak Nederlandse landbouwbodems vastgelegd kan worden, is het technische implementatiepercentage bepaald. Het technische implementatiepercentage is gedefinieerd als het areaal landbouwgrond waarop een maatregel toegepast zou kunnen worden. Effecten van maatregelen op bijvoorbeeld opbrengsten en financiën worden niet meegenomen in de overweging of een maatregel technisch mogelijk is. Deze aspecten komen aan bod wanneer het praktische implementatiepercentage wordt bepaald. Deze is gedefinieerd als de bereidheid van boeren om een maatregel op zijn/haar percelen toe te passen. De bepaling van het praktische implementatiepercentage zal in een vervolgproject plaatsvinden.

Om het technische implementatiepercentage te bepalen is per gewas bepaald of een maatregel bij het betreffende gewas kan worden toegepast. De gewassen die zijn

meegenomen in deze analyse zijn gebaseerd op de gewassen uit de Basis Registratie Percelen (BRP). Gewassen uit het BRP die niet van toepassing zijn voor de maatregelen binnen de LTE's zijn niet meegenomen in de analyse, dit betreft o.a. meerjarige gewassen en fruitteelt.

Per gewas is bepaald of een maatregel wel of niet kan worden toegepast. Bij het bepalen van de toepassing van een maatregel op een gewas zijn o.a. de volgende vragen van toepassing geweest:

- Kun je groenbemesters zaaien na de oogst van het betreffende gewas?
- Kun je minimale grondbewerking toepassen voor de inzaai/planten van het betreffende gewas?
- Kun je kunstmest vervangen door dierlijke mest of compost voor de inzaai/planten van het betreffende gewas?
- Kun je het betreffende gewas vervangen door een rustgewas/graaan in het bouwplan?
- Kan de leeftijd van het type grasland worden verlengd?
- Kan het grasland worden vervangen door kruidenrijk grasland?

Vragen met het antwoord ja kregen daarbij een 1 toebedeeld en vragen met het antwoord nee kregen een 0 toebedeeld. De antwoorden op deze vragen zijn ingevuld in een matrix (Bijlage 3), waarbij geldt: 1 = een maatregel kan voor/na/tijdens de teelt van het betreffende gewas worden toegepast, en 0 = een maatregel kan voor/na/tijdens de teelt van het betreffende gewas niet worden toegepast. Wanneer een maatregel niet op 100% van het gewasoppervlak kan worden toegepast, of wanneer een maatregel niet per definitie ieder jaar kan worden toegepast, is er een getal ingevuld tussen 0 en 1, welke naar rato van de toepassing is. Voor de maatregelen extra graan en rustgewassen in het bouwplan geldt dat er bij het invullen van de matrix is overwogen of het betreffende gewas minder koolstof aanvoert dan graan of een rustgewas, wat in dat geval is aangeduid met een 1.

Per gewassoort is het totale areaal in Nederland bekend. Door het areaal te vermenigvuldigen met de matrix wordt bepaald op welk areaal een maatregel toegepast kan worden (Bijlage 3). De optelsom hiervan geeft het totale areaal landbouwgrond waarop een maatregel kan worden toegepast. Hierbij is tevens onderscheidt gemaakt naar toepassing op zandgrond en kleigrond.

4 Resultaten

4.1 Metingen in LTE's van effecten van maatregelen op de koolstofvastlegging

4.1.1 Akkerbouw

Niet-kerende grondbewerking

Tabel 4.1 toont de resultaten van de metingen aan niet kerende grondbewerking in de bovengrond (0-30 cm) op klei in Flevoland en Vlaanderen en zand in Limburg. We zien hier dat er op zowel de klei- als zandgronden geen significante verschillen zijn tussen het toepassen van niet-kerende grondbewerking en ploegen. Bij het zuidelijk zand lijkt sprake van koolstof vastlegging bij lage bemesting (met alleen spuiwater). Bij de standaard bemesting (combinatie van drijfmest en kunstmest) zien we deze vastlegging niet. Deze resultaten zijn echter, ondanks de toegepaste correctie voor de uitgangssituatie niet significant. De resultaten uit Tabel 4.1 tonen dat er op dit moment geen bewijs is om aan nemen dat NKG bijdraagt aan het vastleggen van koolstof in de bovenlaag.

Tabel 4.1. Effecten van niet kerende grondbewerking in de akkerbouw op de koolstofvoorraad en CO₂ vastlegging, t.o.v. ploegen in de bovengrond (0-30 cm)

Behandeling	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO ₂ /ha/jaar)
Centrale klei			
Ploegen	0,93 a	42,7 a	
NKG	0,97 a	44,8 a	0,69
Vlaamse klei			
Ploegen	1,30 a	56,5 a	
NKG	1,27 a	57,0 a	+0,12
Zuidelijk zand*			
ploeg - standaard - erwt	2,41 a	95,1 a	
NKG - standaard - erwt	2,17 a	85,6 a	-5,82
ploeg - laag - erwt	1,83 a	75,8 a	
NKG - laag - erwt	1,99 a	82,8 a	4,28
ploeg - standaard - prei	2,41 a	98,9 a	
NKG - standaard - prei	2,21 a	94,3 a	-2,79
ploeg - laag - prei	2,25 a	83,2 a	
NKG - laag - prei	1,93 a	82,2 a	-0,66

* Gecorrigeerd voor verschillen in de uitgangssituatie tussen behandelingen. De ongecorrigeerde gemeten waarden voor de C-elementair metingen staan weergegeven in bijlage 5.

In de onderlaag worden voor zowel de centrale klei als het zuidelijk zand geen significante verschillen gemeten (Tabel 1: Bijlage 4). Bovendien is de trend in beide gevallen negatief, wat ook in de diepere lagen bij NKG eerder op een afname in koolstofvoorraad duidt ten opzichte van ploegen, dan op een toename. Opvallend is dat op de Vlaamse klei wel een significante afname van de koolstofvoorraad wordt gemeten, waar deze in de bovenlaag niet significant was. Mogelijk komt dit doordat het organische materiaal bij het toepassen van NKG minder diep wordt ondergeploegd en dus meer aan het oppervlak blijft. De analyse van het effect van de maatregelen op de bodemkwaliteit tonen dat bij de proef op de Vlaamse klei een significant verschil optreedt in

bodemtype in de bovengrond, maar niet in de ondergrond. Bodemtype is van grote invloed op het binden van koolstof en kan dus invloed hebben op de bevindingen die hier zijn gedaan. Een nadere analyse is nodig om te duiden waarom er wel een significant effect optreedt in de ondergrond van de Vlaamse klei, maar niet in de bovengrond.

Samenvattend vertonen de resultaten van de maatregel Niet-kerende grondbewerking geen positief effect op de koolstofvoorraad in de lange termijn experimenten in de Nederlandse akkerbouw. In 2018 is in dit project ook onderzoek gedaan naar het effect van NKG op koolstofvastlegging. Ook toen is er geen éénduidig effect van NKG op koolstofvastlegging waargenomen. Aangezien de resultaten van 2018 zich in 2019 herhalen, kan worden geconcludeerd dat het bij de bevindingen in 2018 niet om een jaareffect ging, en dat er geen onderbouwing is voor de aanname dat het toepassen van Niet-kerende grondbewerking een positief effect heeft op koolstofvastlegging in Nederland.

Verbeteren gewasrotaties

Tabel 4.2 toont effecten van gewasrotaties met meer graan, zoals gemeten op praktijkbedrijven in drie gebieden in Nederland, op de bovengrond (0-30 cm). We zien in alle drie de gebieden geen significante verschillen, maar wel een trend waarbij gewasrotaties met meer graan een hogere koolstofvoorraad in de bovengrond vertonen. Dit is zo op klei maar ook op zandgrond. Indien deze data worden gecombineerd (waarbij gecorrigeerd wordt voor gebiedsverschillen), is het verschil in C-elementair significant ($p < 0.05$), en heeft het verschil in koolstofvoorraad een duidelijke trend ($p = 0.053$). Het verschil in C-elementair is groter dan in de koolstofvoorraad omdat de bouwplannen met meer graan resulteerden in bodems met een lagere dichtheid.

Het is niet precies bekend wat de looptijd van de verschillen in gewasrotatie op de praktijkpercelen is geweest. Toch willen we een grove inschatting maken van de jaarlijkse koolstofvastlegging. Daartoe hebben we een voorzichtige inschatting gemaakt, met een periode van 30 jaar voor het bestaan van de verschillen in gewasrotatie (tabel 4.2). We zien dan een vastlegging van 1,58 ton CO₂ per ha per jaar voor de gewasrotaties met zo'n 25% meer graan.

Tabel 4.2. Effecten van gewasrotaties met meer graan op de koolstofvoorraad en CO₂ vastlegging, t.o.v. gewasrotaties met weinig graan, in de bovengrond (0-30 cm)

Behandeling	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (indicatief berekend met 30 jaar) (ton CO ₂ /ha/jaar)
Centrale klei			
Weinig graan	1,71 a	69,6 a	
Veel graan	1,86 a	76,0 a	0,78
Zeeuwse klei			
Weinig graan	0,96 a	42,3 a	
Veel graan	1,73 a	70,4 a	3,44
Zuidelijk zand			
Weinig graan	2,15 a	90,3 a	
Veel graan	2,36 a	98,8 a	1,04
Alle drie de gebieden, gecorrigeerd voor gebiedsverschil (stratum)			
Weinig graan	1,63 a	66,9 a	
Veel graan	1,97 b	79,9 a	1,58*

Tabel 2 uit Bijlage 4 toont effecten van gewasrotaties met meer graan in de ondergrond zoals

gemeten op praktijkbedrijven in de drie akkerbouwgebieden van Nederland. Geen van de verschillen zijn hierin significant, en de variatie is dusdanig groot dat we ook niet kunnen spreken van een trend.

De resultaten voor deze maatregel zijn afkomstig van een beperkt aantal praktijkpercelen. Hiertussen kunnen diverse verschillen aanwezig zijn (bijvoorbeeld in de bodem). Bovendien zullen veranderingen in gewasrotatie vaak meerdere gewassen betreffen, inclusief de daaropvolgende groenbemesters en bijbehorende bemesting. Een veelvoud van de metingen zoals hier gepresenteerd zouden verschillen duidelijker in beeld kunnen brengen, en een deel van deze variatie weg kunnen nemen.

Op grond van de beschreven resultaten kunnen we voorzichtig concluderen dat gewasrotaties met 25% meer graan in de bovengrond tot een hogere koolstofvastlegging hebben geleid. Indicatief berekend voor een periode van 30 jaar had deze verhoogde vastlegging een grootte van 1,58 ton CO₂ per ha per jaar. De gegevens geven geen aanleiding voor aanname van verschillen tussen zand en klei.

Compost en dierlijke mest toevoegen op centrale klei

Effecten van verschillende bemestingen op het koolstofgehalte en de koolstofvoorraad in de bovengrond (0-30 cm) zijn weergegeven in Tabel 4.3. Het resultaat toont dat compost in de bovengrond een zeer significante toename van zowel het koolstofgehalte als de koolstofvoorraad geeft. Het toevoegen van 20 ton compost per jaar resulteert in een vastlegging van 1,84 ton CO₂ per ha per jaar, en het toevoegen van 40 ton compost per jaar resulteert in een vastlegging van 4,03 ton CO₂ per ha per jaar.

De proef waarbij drijfmest wordt vervangen door maaimeststoffen toont eveneens een significante toename. Een dubbele hoeveelheid maaimeststof leidt echter tot een even grootte toename.

Tabel 4.3. Effecten van toediening van mest en compost op de koolstofvoorraad en CO₂ vastlegging, t.o.v. toediening van kunstmest, in de bovengrond (0-30 cm)

Behandeling	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO ₂ /ha/jaar)	Vastlegging per ton toegediende OS (ton CO ₂ /ha/jaar/ton OS)
Centrale klei, compost (Lelystad WUR - Flevoland)				
Kunstmest	0,91 a	39,0 a		
Compost 20 ton	1,01 b	43,5 b	1,84***	0,51
Compost 40 ton	1,14 c	48,9 c	4,03***	0,56
Centrale klei, maaimeststoffen (Lelystad WUR - Flevoland)				
Drijfmest	1,03 a	43,1 a		
Maaimeststoffen Standaard	1,12 b	47,1 b	1,83**	1,57
Maaimeststoffen dubbel	1,15 b	48,3 b	2,36**	1,01
Centrale klei, compost en dierlijke mest (Lelystad LBI - Flevoland)				
Kunstmest	0,89 a	40,2 a		
Drijfmest	0,89 a	40,5 a	0,04	0,06
Kippenmest	0,97 ab	44,1 a	0,67	0,84
Potstalmest	1,03 ab	44,0 a	0,66	0,29
GFT	0,99 ab	41,7 a	0,26	0,34
Groencompost	0,88 a	37,2 a	-0,53	-0,74
Natuurcompost	1,13 b	47,8 a	1,31	0,43
GFT+drijfmest	1,03 ab	43,5 a	0,57	0,40

Daarbij komt dat het verschil met de drijfmestbehandeling dusdanig groot is (> 1 ton CO₂ per ton organische stof) dat dit niet puur door de bemesting te verklaren lijkt. De derde proef uit Tabel 4.3 toont de effecten van bemesting met 8 verschillende soorten mest. Er is een significant verschil in C-elementair, maar omdat de behandelingen met een hoger C-elementair gehalte ook tot een lagere bodemdichtheid hebben geleid, vertaalt dit zich niet in een significant verschil in koolstofvoorraad tussen de verschillende behandelingen. Wel is er een positieve trend in alle gevallen wat betreft koolstofvoorraad, behalve in het geval van groencompost. Van die laatste waren er echter minder herhalingen beschikbaar (twee in plaats van vier).

De toename in bodemkoolstof vertoont een duidelijke correlatie ($R^2 = 0,80$) met de hoeveelheid toegevoegde organische stof in de bemesting. Verschillen per meststof zijn daarbij zichtbaar: de vastlegging per ton toegediende organische stof toont daarbij de trend dat kippenmest en natuurcompost relatief veel koolstof vastleggen, terwijl drijfmest relatief weinig aan de koolstofvastlegging bijdraagt per ton toegediende organische stof.

Tabel 3 uit Bijlage 4 toont de effecten van verschillende bemestingen op de koolstofvoorraad in de ondergrond, op de centrale klei. De resultaten tonen geen significante effecten in de ondergrond.

De resultaten van het toevoegen van mest en compost tonen samenvattend een duidelijk positief effect op het koolstofgehalte en de koolstofvoorraad in de bovengrond. In de ondergrond zien we geen vastlegging. Er zijn verschillen tussen meststoffen: drijfmest geeft slechts een zeer kleine toename, en vaste mest en compost geven een grotere toename. Dit is in overeenstemming met de gegevens van 2018.

Het gebruik van mest en compost in plaats van kunstmest heeft een verhoging van het koolstofgehalte en de koolstofvoorraad in de bovengrond tot gevolg. De orde van grootte van de gemeten effecten is 0 – 4 ton CO₂ per ha per jaar. Het is goed hierbij op te merken dat de hoeveelheden toegediende mest en compost hierbij binnen de wettelijke kaders vielen. Echter in de praktijk is mogelijk slechts beperkt ruimte voor extra koolstofvastlegging uit mest en compost. Dit is alleen het geval indien de ruimte bestaat om van kunstmest nog om te schakelen naar organische mest of door inzet van fosfaatarme mest in de toekomst.

4.1.2 Veehouderij

Niet kerende grondbewerking in mais

Tabel 4.4 toont de resultaten van het effect van verschillende systeemtoepassingen van niet kerende grondbewerking op noordelijk zand in de maisteelt in een veehouderij systeem. De resultaten tonen dat er geen significante toename in het koolstofgehalte en de koolstofvoorraad is gemeten ten opzichte van volvelds spitten. In de bovenlaag is de waargenomen trend wel positief, maar de variatie is groot.

Tabel 4.4. Effect van verschillende toepassingsvormen van Niet-kerende grondbewerking in de maisteelt van de veehouderij op de koolstofvoorraad en CO₂ vastlegging, t.o.v. spitten in de bovengrond (0-30 cm).

Behandeling	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO ₂ /ha/jaar)
Noordelijk zand			
Spitten, continu maisteelt	2,75 a	110,8 a	
NKG woelen, continu mais met nazaai rogge + wintererwt	2,82 a	113,6 a	1,29
NKG strokenfrees, continu mais met nazaai gras	3,14 a	126,8 a	7,33
NKG strokenfrees, 1-jarige wisselteelt mais gras	2,79 a	112,7 a	0,86
NKG strokenfrees, continu mais met daartussen blijvend gras (geremd)	2,79 a	112,5 a	0,8

Tabel 4 uit Bijlage 4 toont de effecten van niet kerende grondbewerking in de ondergrond op het noordelijk zand. Hier zien we geen significante effecten op het koolstofgehalte of de koolstofvoorraad. Wel zien we, in tegenstelling tot de trend in de bovengrond, juist een negatieve trend van NKG ten opzichte van volvelds spitten.

Samenvattend laten de gegevens van Niet-kerende grondbewerkingssystemen in maisteelt op noordelijke zandgrond geen significant effect zien op het koolstofgehalte en de koolstofvoorraad wanneer vergeleken met volvelds spitten. Wel zien we een tendens naar toename van de koolstof voorraad in de bovengrond, en juist een afname in de ondergrond. In 2018 werd in de maisteelt wel een significante toename van de koolstofvoorraad door Niet-kerende grondbewerking op kleigrond gevonden en zagen we een trend op zandgrond die niet significant was. Het ging daarbij om percelen die vóór de maisteelt langjarig in gras hadden gelegen. Nu zien we opnieuw een positieve trend in de bovengrond op zandgrond, die echter niet significant is. Bovendien lijkt er een herverdeling van organische stof plaats te vinden, waarbij de trend is naar een lager koolstofgehalte in de ondergrond.

Concluderend beperkt het effect van Niet-kerende grondbewerking ten opzichte van volvelds spitten in de maisteelt van de veehouderij op noordelijke zandgrond zich tot een trend. Dit is in overeenstemming met resultaten uit 2018 waarbij Niet-kerende grondbewerking in mais alleen een effect opleverde in klei maar niet op zand.

Leeftijd van grasland (niet scheuren)

Tabel 4.5 toont de effecten van een verhoging van de leeftijd van grasland op het koolstofgehalte en de koolstofvoorraad in de bovengrond (0-30 cm). We zien op de noordelijke kleigrond een

significante toename in zowel het koolstofgehalte en de koolstofvoorraad. Het gaat om een toename van 5,46 ton CO₂ per ha per jaar.

In de graslanden op de zuidelijke zandgronden zien we géén significantie toename in de koolstofvoorraad.

Tabel 4.5. Effecten van de toename leeftijd van grasland door niet scheuren op de koolstofvoorraad en CO₂ in de bovengrond (0-30 cm)

Categorie	Gemiddelde leeftijd grasland	Aantal percelen	C-elementair	Koolstof voorraad	Vastlegging
(jaar)	(jaar)		(%)	(ton C/ha)	(ton CO ₂ /ha/jaar)
Noordelijke klei					
0-1 j	1	7	2,99	117,4	5,46**
2-5 j	3	1	2,93	115,0	
6-10 j	9	4	3,03	118,9	
11-20 j	17	3	3,78	148,5	
>20 j	28	7	3,84	150,6	
Zuidelijk zand					
0-1 j	0	10	1,89	80,5	-0,25
2-5 j	3	7	1,93	82,3	
6-10 j	8	5	1,76	74,9	
11-20 j	15	5	1,86	79,2	
>20 j	50	1	1,80	76,6	

Tabel 5 uit Bijlage 4 toont de effecten van leeftijd grasland (niet scheuren) in de ondergrond (30-60 cm). Hier zien we geen een significante toename, afname of trend. Dit geldt zowel voor de percelen op de noordelijke klei als voor de percelen op het zuidelijk zand.

De toename van het koolstofgehalte in de laag 0-30 cm en de koolstofvoorraad op kleigronden is van vergelijkbare orde van grootte als gemeten in 2018, maar in 2019 wel significant, omdat er meer percelen aan de analyse zijn toegevoegd. Dit kan nog verbeterd worden (zie geringe aantallen percelen in de categorieën 2-20 jaar).

Voor de zandgrond zien we geen toename in het koolstofgehalte of koolstofvoorraad in de laag 0-60 cm. Eerder onderzoek (van Eekeren *et al.*, 2008; de Wit *et al.*, 2018) toont een toename in de koolstofvoorraad. Deze metingen beperkten zich echter tot een effect in de gemeten laag 0-10 cm. Een mogelijke verklaring voor het ontbreken van een effect in de onderzochte graslanden is het relatief hoge gehalte aan organische stof (3,5 % tot 3,9 %). Mogelijk is daarmee al sprake van een evenwicht. Dit kan voorkomen als deze percelen in het verleden één of meerdere (langjarige) perioden in grasland hebben gelegen. Gericht selectie van percelen met een bekend verleden (mais of akkerbouw) en verschillende leeftijden is nodig om hierover verder uitsluitsel te geven.

Concluderend is voor kleigronden een significantie toename van het koolstofgehalte en de koolstofvoorraad gevonden van 5,46 ton CO₂ per ha per jaar. De metingen op zuidelijke zandgrond vertonen geen significante toename, maar hier is verder onderzoek wenselijk.

Mais-gras wisselteelt (eerste aanzet, meting van enkele behandelingen)

Tabel 4.6 toont de resultaten van de eerste metingen voor de maatregel mais-gras wisselteelt (zie voor de ondergrond Tabel 6 in Bijlage 4). Het doel hiervan is om op bedrijfsniveau het effect van een

indeling van 60% blijvend grasland en 40% driejarige wisselteelt mais – gras te onderzoeken. Bij deze metingen ontbreken vooralsnog geschikte percelen voor een volledig vergelijking. De gegevens zullen in de volgende jaren aangevuld kunnen worden, na een zoektocht naar verdere geschikte bedrijven en percelen.

Tabel 4.6. Eerste metingen voor de maatregel mais-gras wisselteelt voor de bovengrond (0-30 cm). Het aantal bemonsterde percelen is nog te klein om hier een verdere analyse op uit te voeren.

Categorie (jaar)	Aantal percelen	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO ₂ /ha/jaar)
Zuidelijk zand				
Wisselteelt gras				
1 j	1	1,50	65,9	n.v.t.
2 j	3	1,85	78,0	n.v.t.
3 j	0			
Wisselteelt mais				
1 j	2	1,55	60,1	n.v.t.
2 j	0			
3 j	0			
Meerjarig				
gras	0			
mais	0			

Diepwortelende gewassen (nulmeting)

De effecten van het diep losmaken en mengen voor de bovengrond en ondergrond om diepere beworteling door het gewas te stimuleren voor toekomstig grasland staan weergegeven in Tabel 4.7. Dit betreft een nulmeting, en de komende jaren moet uitwijzen of de maatregel leidt tot een toename in de koolstofvoorraad. We zien dat het koolstofgehalte in de bovenlaag inderdaad significant afneemt, wanneer de grond met de arme onderlaag wordt vermengd. Op dezelfde manier is te zien dat de koolstofvoorraad in de ondergrond toeneemt, hoewel dit verschil niet significant is.

Daar het een nulmeting betreft, kunnen hieruit vooralsnog géén conclusies worden afgeleid.

Tabel 4.7. Nulmeting van koolstofgehalte en koolstofvoorraad voor de maatregel stimuleren van diep wortelende gewassen in de boven- (0-30 cm) en ondergrond (30-60 cm) van het zuidelijk zand

Behandeling	0-30 cm		30-60 cm	
	C-elementair (%)	Voorraad (ton C/ha)	C-elementair (%)	Voorraad* (ton C/ha)
spitten 30 cm	1,45 a	60,6 a	0,39 a	17,6 a
spitten 50 cm	1,33 ab	55,7 a	0,50 a	22,7 a
spitten 80 cm	1,13 b	48,9 a	0,47 a	21,3 a

* Metingen liepen hierbij door tot 80 cm. Berekening beperkt tot 60 cm vanwege onzeker bulkdichtheid in de diepste laag.

4.2 Metingen in LTE's van effecten van maatregelen op de BLN-indicatoren

De BLN-indicatoren zijn bepaald voor alle gemeten maatregelen uit paragraaf 4.1. Voor de maatregelen niet kerende grondbewerking, verbetering gewasrotaties en compost en dierlijke mest toevoegen kunnen de effecten van de maatregelen statistisch worden geanalyseerd. In het vervolg van het project in het programma Slim landgebruik voor de jaren 2020-2023 zullen de effecten verder worden uitgewerkt.

Bijlage 5 geeft een volledig overzicht van de BLN-indicatoren van alle behandelingen uit de onderzochte LTE's. De eerste resultaten laten het volgende zien:

- De maatregel Niet-kerende grondbewerking heeft vooral effect op de fysische bodemindicatoren zoals bodemdichtheid, indringingsweerstand en het watervasthoudend vermogen van de bodems. Een aantal objecten laat een hogere bodemdichtheid zien, zoals ook verwacht mag worden. Toch zien we géén algemene verslechtering van de bodemstructuur, maar eerder een trend naar een betere bodemstructuur als gevolg van Niet-kerende grondbewerking. Dit is in overeenstemming met resultaten uit andere studies rondom niet-kerende grondbewerking.
- De maatregel verbetering gewasrotaties door meer graan vertoont trends naar een toename in de organische stof en de HWC (hot water extractable carbon), en een trend naar lagere bodemdichtheid. We zien een significante toename in schimmelbiomassa en bacteriële biomassa.
- Voor de maatregel compost en dierlijke mest zien we wat betreft de maatregel compost toevoegen significante toenames in de organische stof, HWC, en N, P en K. Dit is wat mag worden verwacht. Voor de overige meststoffen zijn er vooral effecten op de organische stof en stikstof, en een wisselend effect op de bacteriële biomassa.

4.3 Kengetallen organische stof aanvoer gewassen

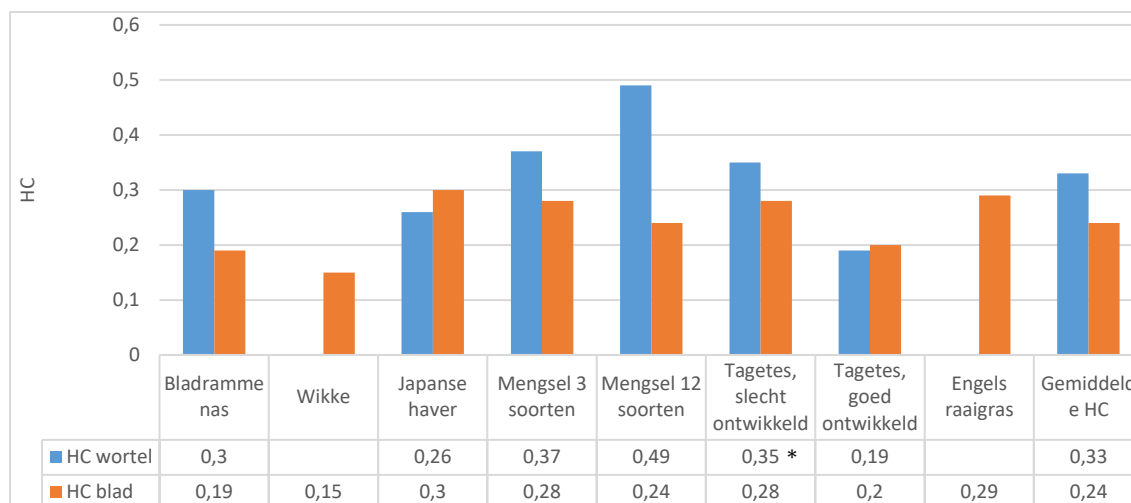
In 2018 en 2019 is gewerkt aan het actualiseren en uitbreiden van kengetallen voor de effectieve organische stof (EOS) aanvoer van groenbemesters. Hier kan een betere inschatting worden gemaakt van de potentie van verschillende typen organisch materiaal om bij te kunnen dragen aan organische stof vastlegging en koolstofvastlegging in de bodem. Het literatuuronderzoek van 2018 en 2019 heeft 182 datapunten opgeleverd welke goed overeenkomen met de eigen metingen, uitgevoerd in 2019. De metingen in 2019 hebben 235 datapunten opgeleverd. Daarnaast zijn 525 datapunten geëxtraheerd uit reeds beschikbare data vanuit verschillende proeven vanaf 1991 tot 2018. Zoals bekend uit voorgaand onderzoek hebben de data van de droge stof-productie van groenbemesters een grote variatie binnen en tussen de soorten. Dit kan met veel verschillende factoren te maken hebben, zoals zaaitijdstip en weersomstandigheden. Om beter inzicht te krijgen in deze variatie zijn voor de soorten waarvan voldoende gegevens beschikbaar zijn, voorstellen gemaakt voor EOS-kengetallen per zaaimaand. De kengetallen zijn vergeleken met de data van de meest voorkomende zaaimaand van elk groenbemestersoort (zie Tabel 4.8).

Tabel 4.8. Vergelijking oude en nieuw voorgestelde kengetallen voor EOS-productie. Bronnen voor oude kengetallen zijn: PAGV (1989), Groenbemesterhandboek (2019) en Handboek bodem en bemesting. Opvallend is dat voor de oude kengetallen voor EOS, het getal voor EOS-wortel en EOS-blad niet optelt tot EOS-blad en -wortel. Cellen met lichtgroene kleur geven de meest voorkomende zaaitijdstippen voor de groenbemesters aan.

Groenbemester- soort	Zaaitijdstip	Huidige kengetallen EOS			Voorgestelde nieuwe kengetallen EOS			Aantal meetpunten
		Blad	Wortel	Blad en wortel	Blad	Wortel	Blad en wortel	
Bladrammenas	Juli	620	280	875	2100	550	2650	16, 16
	Augustus				900	500	1400	53, 36
	September				500	250	750	60, 41
Gele mosterd	Juli	620	280	875	1300	800	2100	17, 13
	Augustus				850	300	1150	37, 19
	September				500	150	650	36, 17
Voederwikke	Augustus	500	175	650	500	400	900	24, 16
	September				250	100	350	26, 13
Tagetes (afrikaantjes)	Juli	1200	-	-	1450	1000	2450	16, 24
	Augustus				700	700	1400	13, 5
Japanse haver	Juli	320	-	850	1550	-	-	12, -
	Augustus				850	550	1400	62, 45
	September				400	250	650	40, 22
Italiaans raaigras	Augustus	500	595	1095	700	1000	1700	11, 11

De cijfers in de tabel zijn gebaseerd op minstens 10 datapunten, met uitzondering van Tagetes. De oude kengetallen liggen, behalve voor Italiaans Raaigras, in de range van de nieuwe kengetallen. Echter door de opsplitsing per maand kan nauwkeuriger de EOS-aanvoer op een perceel berekend worden. Voor Japanse haver en Tagetes zijn nu ook kengetallen voor EOS-wortel beschikbaar en voor Tagetes ook voor totale biomassaproductie. Behalve deze soorten is ook data verzameld over winterrogge, wintergerst, rietzwenkgras, Engels raaigras, phacelia en verschillende mengsels. Door gebrek aan data kunnen voor deze groenbemesters nog geen goed onderbouwde kengetallen geformuleerd worden.

De gemeten HC's van blad en wortel zijn statistisch niet verschillend van de huidige kengetallen (zie Figuur 4.1). Wel is de variatie tussen de soorten erg groot. Tegen de verwachting in heeft het blad van Japanse haver een hogere HC dan de wortel, maar komt wel overeen met het blad van Engels raaigras. Daarnaast zien we een hogere HC voor de goed ontwikkelde tagetes dan de slecht ontwikkelde, terwijl het omgekeerde verwacht wordt op basis van al aanwezige kennis over afbreekbaarheid. Er zijn nog metingen van HC gaande welke zullen bijdragen aan het interpreteren van de resultaten tot nu toe.



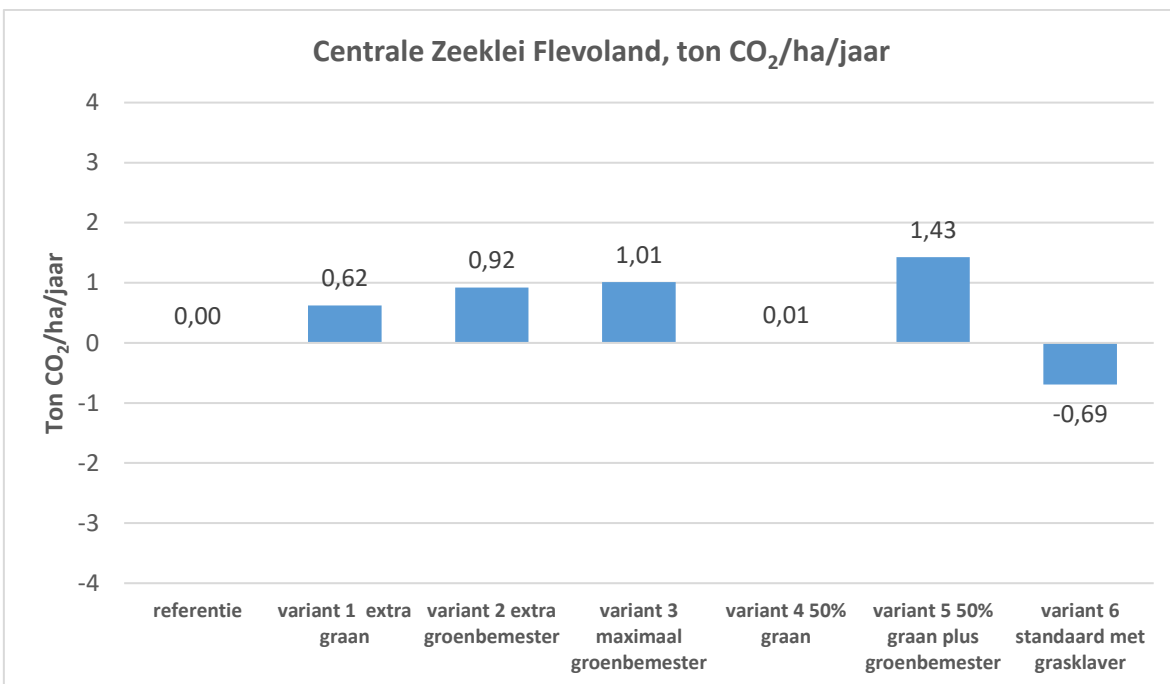
Figuur 4.1. De berekende humificatiecoëfficiënt voor groenbemesters voor blad en wortel. De huidige kengetallen voor HC van blad en wortel van groenbemesters zijn 0,2 en 0,35, respectievelijk. Een ster (*) staat voor grote onzekerheid in het getal.

Om de variatie in droge stof-productie beter te begrijpen is inzicht nodig op welke factoren grondsoort, zaaitijdstip, gewaslengte, groeidagen en weersomstandigheden invloed hebben. Het is gewenst om de kengetallen voor de meest voorkomende zaaimaanden per soort compleet te maken. Meer metingen zouden ook verricht moeten worden aan rietzwenkgras, tagetes, phacelia en wortels van meerdere soorten.

4.4 Modelberekeningen van koolstofvastlegging met verbeteren gewasrotatie

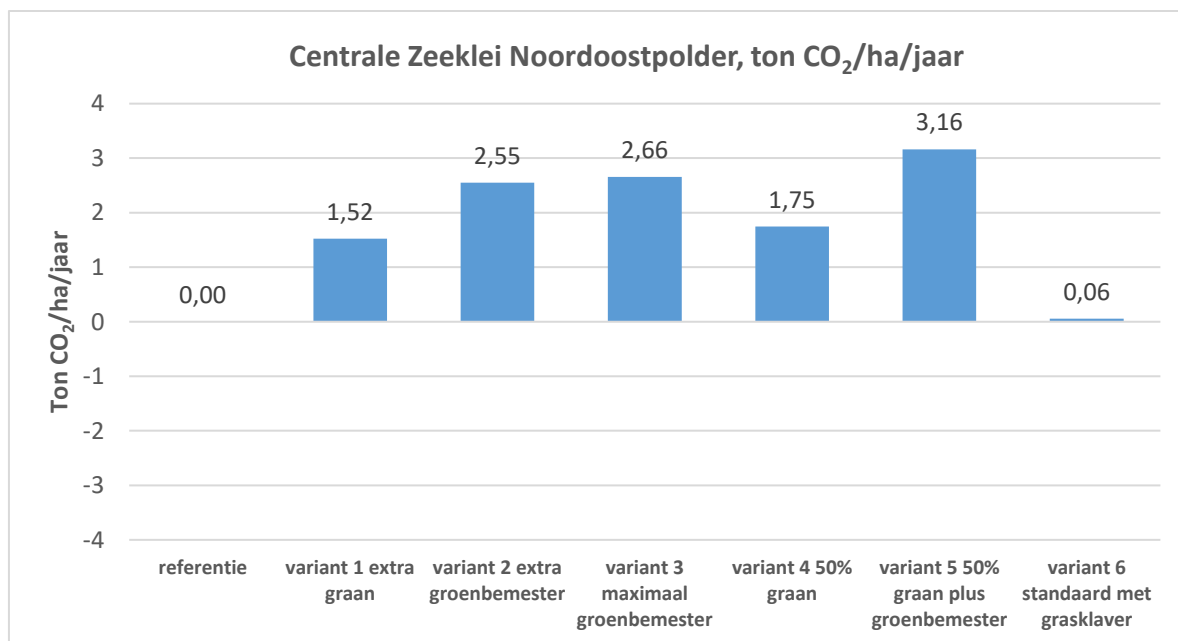
Om de vastlegging van CO₂ bij aanpassingen in de rotatie per regio te kwantificeren hebben we een aantal modelberekeningen gemaakt. Hierbij is gebruik gemaakt van de in paragraaf 4.3 gemeten kengetallen voor o.a. groenbemesters. De berekeningen tonen de jaarlijkse vastlegging van CO₂ ten opzichte van de rotatie die nu het meest voorkomt in de regio's, voor een periode van 10 jaar.

In Figuur 4.2 zien we de resultaten van de modelberekeningen van de aanpassingen in de rotatie op de centrale zeeklei in Flevoland. We zien dat de rotatie met meer graan erin (variant 1, van 25% naar 40%) 0,62 ton CO₂ per ha per jaar extra vastgelegd in vergelijking met de referentierotatie in deze regio. Bij inzet van groenbemesters bij deze granen (variant 2) wordt dit 0,92 ton CO₂/ha/jaar, en met een maximale inzet van groenbemesters (variant 3), 1,01 ton CO₂/ha/jaar. Een alternatieve rotatie zonder suikerbiet maar met winterpeen, 50% graan en maximale groenbemesters (variant 5) gaf een extra vastlegging van 1,43 ton CO₂/ha/ jaar. Inzet van een alternatieve rotatie zonder groenbemesters, of van 2 jaar grasklaver leverde geen extra vastlegging op in deze berekeningen.



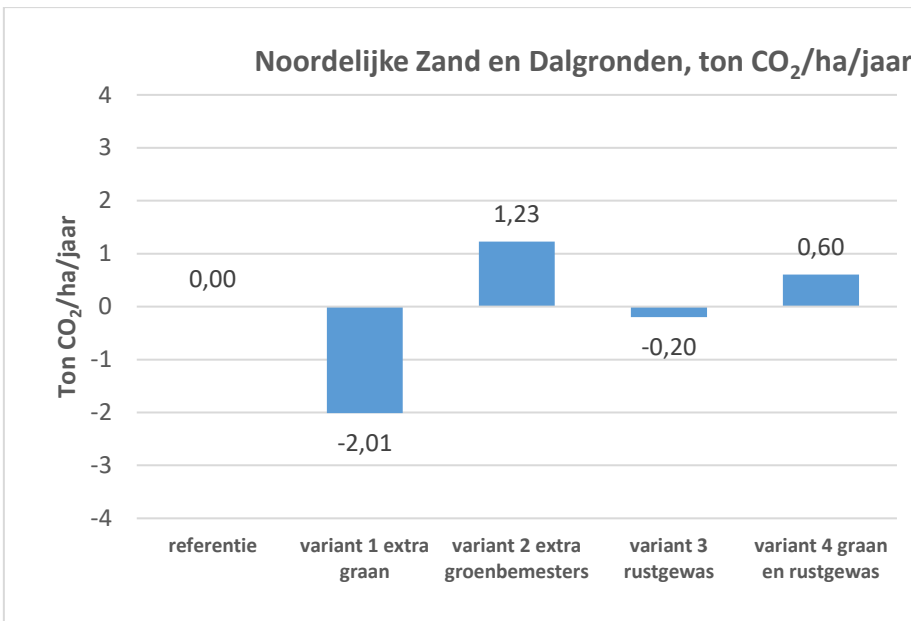
Figuur 4.2. Modelberekening koolstofvastlegging door aanpassingen in de rotatie op de centrale zeeklei, te Flevoland.

In Figuur 4.3 zien we de resultaten van de modelberekeningen van de aanpassingen in de rotatie op de centrale zeeklei in de Noordoostpolder. Hier heeft de standaard rotatie minder graan (17%) maar twee jaar poot aardappelen. De alternatieve rotaties met 33% graan en maximaal groenbemesters (variant 3) en 50% graan met groenbemester (variant 5) leveren in deze regio meer op in de berekeningen, namelijk 2,66 en 3,16 ton CO₂/ha/jaar. Een tweejarige grasklaver (variant 6) levert niet veel extra vastlegging op in deze berekeningen.

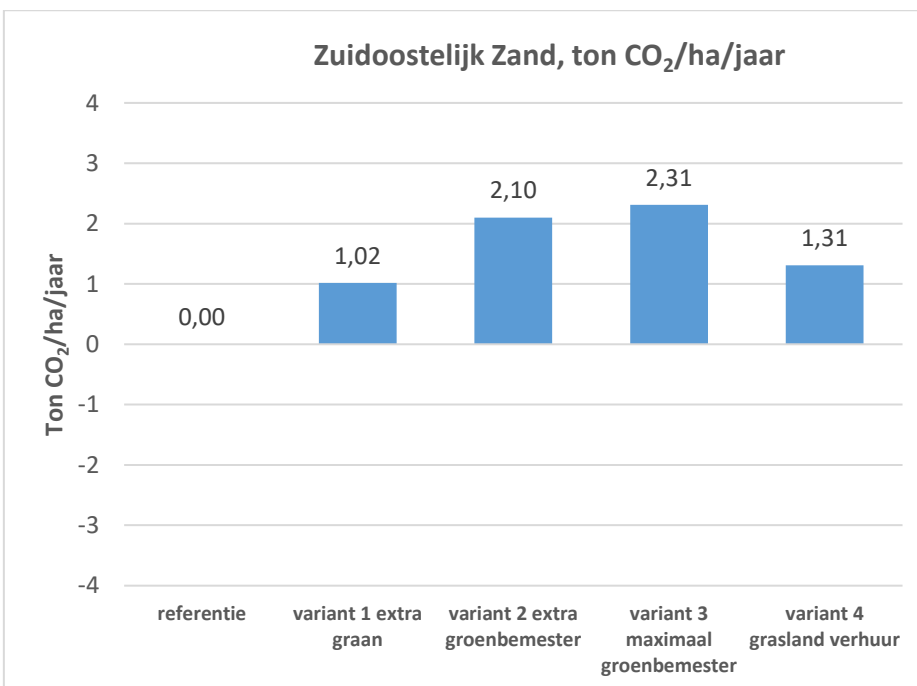


Figuur 4.3. Modelberekening koolstofvastlegging door aanpassingen in de rotatie op de centrale zeeklei, Noordoostpolder.

In Figuur 4.4 zien we de resultaten van de modelberekeningen van de aanpassingen in de rotatie voor de noordelijke zand- en dalgronden. Hier heeft de standaard rotatie al twee jaar een zomergraan met groenbemester (33%) en om het jaar zetmeelaardappelen. We zien dat een variant met 50% zomergraan, maar zonder groenbemester (variant 1) geen extra vastlegging geeft. Indien 50% graan gecombineerd wordt met groenbemesters (variant 3) levert dit een extra vastlegging op van 1,23 ton CO₂/ha/jaar. En tweejarige grasklaver (variant 4 en 5) levert niet veel extra vastlegging op in deze berekeningen.



Figuur 4.4. Modelberekening koolstofvastlegging door aanpassingen in de rotatie op de noordelijke zand- en dalgronden.



Figuur 4.5. Modelberekening koolstofvastlegging door aanpassingen in de rotatie op de zuidelijke zandgronden.

In Figuur 4.5 zien we de resultaten van de modelberekeningen van de aanpassingen in de rotatie voor de zuidelijke zandgronden. Hier heeft de standaard rotatie geen graan. We zien dat 50% zomergraan met groenbemesters (variant 2 en variant 3) de meeste extra vastlegging opleveren (2,10 en 2,31 ton CO₂/ha/jaar, resp). En tweejarige grasklaver levert hier ook extra vastlegging van 1,31 ton CO₂/ha/jaar op.

Samenvattend laten de berekeningen veel regio-specifieke verschillen zien. In de Noordoostpolder leveren de alternatieve rotaties de meeste extra vastlegging van CO₂ op. Op de noordelijke zand en dalgronden leveren slechts 2 varianten extra vastlegging van CO₂ op. Wat echter opvalt is dat de combinatie van extra graan met inzet van groenbemesters de variant is die overal het gunstigste uitpakt. De extra vastlegging van CO₂ van deze aanpassing bedroeg 0,92 ton CO₂/ha/jaar tot 2,66 ton CO₂/ha/jaar, maar was gemiddeld genomen over de regio's 1,70 ton CO₂/ha/jaar. Ook de kosten van dergelijke aanpassingen verschillen per regio. Dit is verder uitgewerkt in het Bodem & Klimaat netwerk akkerbouw en beschreven in Janmaat en Koopmans (2020). In het kader van welke maatregelen nu perspectief bieden op de hele korte termijn (zogenoemde No-regret maatregelen) kan nog meer in detail naar deze maatregel worden gekeken.

4.5 Bodemverstoringsindex

In 2019 is begonnen met het ontwikkelen van een bodemverstoringsindex (BVI) waarmee inzicht verkregen kan worden in de intensiteit van bodemverstoring in teeltsystemen. Voor koolstofvastlegging is dit van belang omdat het verstoren van de bodem de afbraak van organische stof stimuleert. In theorie kan een boer die Niet-kerende grondbewerking toepast zijn bodem evenveel verstoren als een boer met gangbare grondbewerking. De index biedt de mogelijkheid om op een objectieve manier de intensiteit van bodemverstoring in verschillende systemen en teelten met gangbare, gereduceerde of niet-kerende grondbewerking met elkaar te vergelijken door middel van een getal. Het BVI van de machines gebruikt in de BASIS proef werd in deze studie vergeleken met overeenkomstige machines in de STIR-index. Hieruit bleek dat de verhoudingen tussen de indices voor de meeste machines met elkaar overeenkomen. De voorlopige berekende resultaten van het BVI in BASIS tonen dat de bodem in totaal meer verstoord wordt met ploegen dan met de gereduceerde grondbewerking (Tabel 4.9). Tegelijkertijd wordt een toename in organische stof gevonden in gereduceerde grondbewerking t.o.v. ploegen. Het biologische systeem heeft een hogere verstoring in de bovenste lagen o.a. door mechanische onkruidbeheersing waardoor het totale index hoger uitkomt. De gereduceerde grondbewerking heeft in het gangbare systeem een

Tabel 4.9. Voorlopige resultaten van de BVI voor de LTE BASIS uitgesplitst voor ploegen, NKG met woeler en NKG, in gangbare en biologische teelt. De getallen geven het gemiddelde BVI voor het bouwplan per jaar, voor alle bodemlagen bij elkaar en uitgesplitst per bodemlaag. De kleuren geven de verhouding tussen de getallen t.o.v. van elkaar aan, waarbij hoge getallen roodgekleurd zijn en lage getallen groen gekleurd zijn. In kolom 'Alle lagen' worden alle systemen met elkaar vergeleken terwijl in de kolommen per laag de kleurvergelijking voor gangbaar en biologisch apart wordt gedaan.

Gemiddeld index bouwplan per jaar		Alle lagen	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm
Gangbaar	Ploegen	162	63	49	35	15	0
	NKG met woeler	144	74	56	14	0	0
	NKG	127	69	52	6	0	0
Biologisch	Ploegen	190	96	51	32	12	0
	NKG met woeler	154	97	50	8	0	0
	NKG	150	96	49	7	0	0

hogere verstoring in de bovenste lagen. Ploegen heeft in beide systemen meer verstoring in de diepere bodemlagen. Deze resultaten komen overeen met de kennis die beschikbaar is over grondbewerking.

Momenteel wordt een reproduceerbare methode uitgewerkt om contactoppervlak van verschillende typen machines te kunnen meten. Het BVI wordt hiermee eerst uitgewerkt voor BKZ en vervolgens opnieuw voor BASIS waardoor resultaten wellicht weer iets zullen veranderen. Met deze resultaten als basis wordt in het programma Slim landgebruik 2020-2023 nieuwe stappen gezet om de index verder te ontwikkelen en te valideren. Hierbij worden onderzoekers, telers en adviseurs betrokken.

4.6 Bepaling van de technische implementatiegraad

De resultaten van de bepaling van de technische implementatie (Tabel 4.10) tonen dat met name maatregelen die niet per definitie gewas-specifiek zijn op een grote oppervlakte kunnen worden toegepast, en een hoge technische implementatiegraad kennen. Dit betreft de maatregelen niet-kerende grondbewerking (86% op klei en 91% op zand) en dierlijke mest en compost toevoegen (93%, zowel op zand als klei) voor de akkerbouw. In de veehouderij kent de maatregel dieper wortelende gewassen - kruidenrijk grasland een hoge technische implementatiegraad (22% op klei en 31% op zand).

Tabel 4.10. De arealen waarop een maatregel technisch gezien geïmplementeerd kan worden.

Maatregel	Areal technisch toepasbaar		
	Totaal (ha)	Zand (ha)	Klei (ha)
Akkerbouw			
Niet-kerende grondbewerking	932280	450390	431807
Verbeteren gewasrotaties - extra graan	584950	298253	261990
Verbeteren gewasrotaties - meer rustgewassen	736457	331935	371406
Verbeteren gewasrotaties - meer groenbemesters	354402	116106	224134
Dierlijke mest en compost toevoegen	1698227	459254	467977
Veehouderij			
Niet-kerende grondbewerking	107428	75586	26438
Leeftijd van grasland	212062	118624	76447
Dieper wortelen gewassen - kruidenrijk grasland	1019015	155763	110883

Het bepalen van de technische implementatie is gedaan op basis van expert judgement van onderzoekers met specialisaties in de akkerbouw en veehouderij. De bevindingen zijn tevens beoordeeld door externe experts in de akkerbouw. Voor de veehouderij moet een dergelijke beoordeling nog plaatsvinden. Tijdens deze interviews zijn er aandachtspunten naar voren gekomen die in de toekomst nog aandacht verdienen. De genoemde punten zijn als volgt:

- De inschatting van het technisch implementatiepercentage is gedaan voor heel Nederland als geheel waarbij maar beperkt rekening gehouden kan worden met lokale omstandigheden zoals grondsoort, klimaat, grondwaterstand en bouwplan. De inschatting kan verfijnd worden door in te zoomen naar regio's. Hierbij kan beter rekening gehouden worden met regionaal verschillende omstandigheden. Dit kan worden uitgevoerd in samenwerking met de netwerken Akkerbouw en Veehouderij.
- De inschattingen het technisch implementatiepercentage is ook gedaan op basis van gemiddelde weersomstandigheden. Omstandigheden zoals aanhoudende regen of droogte kunnen de toepasbaarheid van maatregelen tenietdoen. Het risico van het niet kunnen

toepassen van maatregelen vanwege deze omstandigheden zal leiden tot een verlaging van de technische implementatie.

- De maatregel Niet-kerende grondbewerking kent vele uitvoeringen en dient te worden onderverdeeld in verschillende subsets bijvoorbeeld gebaseerd op de bodemverstoring (paragraaf 4.5)

De effectiviteit van maatregelen wordt gegeven in ton CO₂/ha/jaar. Om de maximale vastlegging in Nederland te bepalen dient de effectiviteit per ha vermenigvuldigd te worden met het aantal hectares waarop een maatregel technisch kan worden toegepast. Een eerste aanzet, om te berekenen wat dit betekent voor de maatregelen die zijn onderzocht in deze studie, staat samengevat in Tabel 4.11. Op grond van de in deze studie verzamelde gegevens zien we een totale maximale vastlegging van 1316 kton CO₂/jaar. Hierbij zijn tot nu toe 3 maatregelen kwantitatief ingevuld, gebaseerd op metingen uitgevoerd binnen de LTE studies in zowel 2018 als 2019. Het is belangrijk hierbij te realiseren dat het gaat om een berekening op grond van de technische implementatie. De werkelijke implementatie zal lager liggen door diverse omstandigheden (praktisch, fysiek, economisch en psychologisch). Dit dient in de toekomst verder te worden uitgewerkt.

Tabel 4.11. Maximale potentie van koolstofvastlegging van maatregelen in Nederland op minerale landbouwbodems.

Maatregel	Effectiviteit (ton CO ₂ /ha/jaar)		Areaal technisch toepasbaar (ha)		Max. vastlegging kton CO ₂ /jaar
	Zand	Klei	Zand	Klei	
Akkerbouw					
Niet-kerende grondbewerking	0	0	450390	431807	0
Verbeteren gewasrotaties - extra graan	1,6	1,6	298253	261990	896
Dierlijke mest en compost toevoegen ¹	0,5/ton OS	0,5/ton OS	459254	467977	
Veehouderij					
Niet-kerende grondbewerking bij mais na grasland ²	0	0 - 2,5	75586	26438	
Leeftijd van grasland	0	5,5	118624	76447	420
totaal					1316

¹ Dierlijke mest en compost is berekend per ton OS die is toegevoegd. Hierbij is de vraag in hoeverre er via organische mest en compost extra koolstof kan worden toegevoegd, los van wat er nu reeds wordt gebruikt. Daarom is dit nog niet meegerekend in het totaal. Dit moet verder nagegaan worden in het project No-regret maatregelen

² Niet kerende grondbewerking bij maisteelt na meerjarig grasland is een speciaal geval, dat lang niet altijd als maatregel kan worden ingezet. Daarom is dit nog niet meegerekend in het totaal. Resultaten varieerden van 0 tot 2,5 ton/ha afhankelijk van methode van grondbewerking.

5 Vervolg

De voortgang en (tussen)resultaten uit deze evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof zijn meegenomen in het vervolgtraject van het programma Slim Landgebruik 2020-2023. Het doel is het vaststellen van de effectiviteit van de koolstofvastlegging van landbouwkundige maatregelen voor de Nederlandse condities op basis van metingen, welke worden uitgedrukt in kg CO₂ per ha per jaar. Het gaat hierbij vooralsnog om de koolstofvastlegging van individuele maatregelen, waarbij in latere jaren de effecten van combinaties van maatregelen nader zullen worden bestudeerd. De focus voor verdere studie ligt op de maatregelen die tot op heden nog niet of onvoldoende zijn onderbouwd en gekwantificeerd en een beperkt aantal nieuw maatregelen. Het gaat hierbij om de volgende maatregelen:

- Verdergaande aanpassingen in het bouwplan
- Inzet van groenbemesters
- Wisselteelt mais en gras
- Compost en dierlijke mest veehouderij
- Kruidenrijk grasland (tussenmeting)
- Aanvullende maatregel uit het GLB zoals akkerranden, heggen en hagen of vogelakkers.

Tevens zullen de effecten van deze maatregelen op de bodemkwaliteit e.g. de BLN-indicatoren nader geanalyseerd dienen te worden: hoe beïnvloeden deze maatregelen de metingen uit de BLN indicatorset en koppelen de maatregelen naast koolstofvastlegging positief mee richting een duurzaam beheer van de bodem. In combinatie met een verdere detaillering van de technische toepasbaarheid van de maatregelen kan worden bepaald of de doelstelling van de 0,5 Mton CO₂-reductie per jaar in de landbouwpraktijk in beeld komt. Ook zal de koolstofvastlegging afgewogen dienen te worden tegen de verwachte emissie van lachgas. Dit is onderwerp van een aparte studie naar de no-regret maatregelen voor het GLB. Naast verdere waarnemingen in de LTE's en analyse van de BLN-indicatoren vergt de actualisatie van het biomassagegeven van gewassen en gewasresten verdieping om in het geval van veranderingen in de gewasrotatie in staat te zijn de effecten modelmatig te kunnen begrijpen.

Referenties

- Claassen, R., M. Bowman, J. McFadden, D. Smith en S. Wallander (2018). Tillage Intensity and Conservation Cropping in the United States (No. 1476-2018-5723).
- De Wit, J., van de Goorm, S., Pijlman, J., van Eekeren, N. (2018). Opbouw organische stof met blijven grasland. V-focus Onderzoek & Beleid, april 2018, 32-34.
- Jolink, J. (2018). The effect of reduced tillage on conventional and organic farming systems, MSc Thesis, Wageningen University and Research.
- Haan, J.J. de, (2019). Resultaten Project 2.2e Bodem- en Klimaatkennis gerelateerd aan de PPS Beter Bodembeheer. In het kader van het klimaatprogramma Slim Landgebruik. Wageningen Research, Rapport WPR-800, 24 p.
- Hanegraaf, M.C, H.G.M. van den Elsen, J.J. de Haan en S.M. Visser (2019) Bodemkwaliteitsbeoordeling van landbouwgronden in Nederland – Indicatorset en systematiek, versie 1.0. Wageningen Research, Rapport WPR-795, 34 p.
- Janmaat, L. en C.J. Koopmans (2020) Bodem & Klimaat netwerk-akkerbouw. Voortgangsrapportage 2020. Louis Bolk Instituut en Wageningen Research, 54 p.
- Lesschen, J. P., Heesmans, H. I. M., Mol-Dijkstra, J. P., van Doorn, A. M., Verkaik, E., van den Wyngaert, I. J. J., & Kuikman, P. J. (2012). *Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw en natuur* (No. 2396). Alterra.
- Koopmans, C.J., B. Timmermans, J.P. Wagenaar, J.P. van 't Hull, M.C. Hanegraaf en J.J. de Haan (2019). Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof: Resultaten uit Lange Termijn Experimenten (LTE's). Louis Bolk Instituut en Wageningen Research, 54 p.
- Koopmans, C.J., B. Timmermans, J.P. Wagenaar, J.P. van 't Hull, M.C. Hanegraaf en J.J. de Haan (2019). Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof: Bijlagen. Louis Bolk Instituut en Wageningen Research, 54 p.
- Slier, T., Lesschen, J.P., Kuikman, P., & van der Kolk, J., (2019). *Tabel 7 – Een kritische blik en update*. Notitie in het kader van Slim Landgebruik. Wageningen, Wageningen Environmental Research.
- Van Dijk, W., J. Spruijt, w. Runia en W. van Geel (2012). Verruiming vruchtwisseling in relatie tot mineralenbenutting, bodemkwaliteit en bedrijfseconomie op akkerbouwbedrijven. PPO nr. 527. Wageningen UR. 77 p.
- Van Eekeren, N., Bommel  , L., Bloem, J., Schouten, T., Rutgers, M., Goede, R. de, Reheul, D., Brussaard, L. (2008). Soil biological quality after 36 years of ley-arable cropping, permanent grassland and permanent arable cropping. *Applied Soil Ecology* 40, 432-446.

Bijlage 1. LTE- Proefopzet beschrijvingen

Akkerbouw

Niet-kerende grondbewerking op centrale klei (Lelystad WUR - Flevoland)

In dit experiment, in bedrijf sinds 2009 op de Broekmahoeve in Lelystad, wordt gekeken naar de effecten van niet-kerende grondbewerking (NKG) in vergelijking met ploegen in het najaar, in een gangbaar bouwplan met zomergerst, zaaiui of doperwt, pootaardappelen en suikerbieten. Dit is een representatief bouwplan voor de klei/zavelgronden in Nederland (Van Balen en Haagsma, 2017). In 2019 stonden er aardappelen. Het lutumgehalte van deze bodem is 12%. In dit experiment is in 2018 ook gemeten en werden toen geen significante verschillen gevonden. Dit kan een jaareffect zijn of samenhangen met het type gewas in het jaar van bemonstering. Hierom is besloten de metingen in 2019 te herhalen.

Behandeling	Herhalingen	Beschrijving
Kerend	4	Ploegen op 23-25 cm
Niet-kerend	4	Woelen op 17 cm

Niet-kerende grondbewerking op Vlaamse kleigrond

Dit experiment, gelegen op proefbedrijf INAGRO in Rumbke-Beitem, is in 2006 opgezet in een biologische akkerbouwrotatie met als doel de effecten te meten van niet-kerende grondbewerking in vergelijking met ploegen. Het betreft hier een 6-jarige gewasrotatie met grasklaver, prei, knolselderij of wortel, granen, kolen en aardappel. In 2019 stond er wortel. De bodem is een kleigrond met 12 % lutum en daarmee vergelijkbaar met sommige akkerbouwgronden in het zuidwestelijke akkerbouwgebied.

Behandeling	Herhalingen*	Beschrijving
Kerend	4	Ploegen tot 25 cm diepte
Niet -kerend	4	Woelen tot een diepte van 25 – 35 cm

**Het betreffen in dit experiment technische herhalingen gelegen over de lengte van elk één perceel.*

Niet-kerende grondbewerking en dierlijke mest toevoegen op zuidelijk zand (Vredepeel – Limburg)

In dit experiment worden kerende grondbewerking (ploegen) en niet-kerende grondbewerking (woelen) met elkaar vergeleken voor twee verschillende bemestingsstrategieën (standaard en aanvoer van dierlijke mest) en in twee verschillende gewassen. Het gaat hier om een gangbare 6-jarige gewasrotatie: Aardappelen, conservenerwt, prei, zomergerst, wortel en snijmais. Het experiment met verschillende aanvoer van dierlijke mest is gestart in 2005, dit is in 2011 uitgebreid met de het experiment met NKG.

In dit experiment is in 2018 ook gemeten, maar werden geen significante verschillen gevonden. Dit kan een jaareffect zijn of samenhangen met het type gewas in het jaar van bemonstering. Hierom is besloten de metingen te herhalen. Voor kerende grondbewerking is geploegd op 20 cm met ondergronders tot 30 cm diepte en voor NKG is gewoeld op 30 cm diepte en gecultiveerd op 15 cm. Voor de standaard bemesting wordt gebruik gemaakt van drijfmest (zowel varkensdrijfmest als runderdrijfmest), aangevuld met kunstmest. Bij de bemesting met lage aanvoer van dierlijke mest wordt gebruik gemaakt van kunstmest, mineralenconcentraat en spuiwater. De bemesting wordt

afgestemd op het gewas en wordt in principe zodanig toegediend dat de hoeveelheid mineraal stikstof voor beide behandelingen gelijk is. In totaal zijn er 8 verschillende behandelingen, die op verschillende manieren onderling vergeleken kunnen worden.

Behandeling	Herhalingen*	Beschrijving
kerend - standaard OS- erwt	4	Ploegen met ondergronders tot diepte 20 cm, standaard bemesting
niet kerend - standaard OS - erwt	4	Voorzetwoeler tot 30-35 cm en woeler tot 15 cm, standaard bemesting
kerend - weinig OS - erwt	4	Ploegen met ondergronders tot diepte 20 cm, geen organische stofaanvoer via mest
niet kerend - weinig OS - erwt	4	Voorzetwoeler tot 30-35 cm en woeler tot 15 cm, geen organische stofaanvoer via mest
kerend - standaard OS - prei	4	Ploegen met ondergronders tot diepte 20 cm, standaard bemesting
niet kerend - standaard OS - prei	3**	Voorzetwoeler tot 30-35 cm en woeler tot 15 cm, standaard bemesting
kerend - weinig OS - prei	4	Ploegen met ondergronders tot diepte 20 cm, geen organische stofaanvoer via mest
niet kerend - weinig OS - prei	4	Voorzetwoeler tot 30-35 cm en woeler tot 15 cm, geen organische stofaanvoer via mest

*Het betreffen in dit experiment technische herhalingen gelegen over de lengte van elk één perceel.

**Hiervan zijn slechts 3 herhalingen beschikbaar ivm verongelukken monster in het laboratorium

Verbeteren gewasrotaties op klei (Zeeland en Flevoland) en zand (Brabant)

Het verbeteren van gewasrotaties met het oog op het vastleggen van koolstof kan worden bereikt door het verhogen van het aandeel graan, of rustgewassen zoals bijvoorbeeld grasklaver, luzerne en graszaad in de gewasrotatie op te nemen. Voor dit jaar is gekozen om te focussen op het aandeel graan. Daartoe zijn metingen aan rotaties met een verschillend aandeel graan uitgevoerd op praktijkpercelen in de regio's Zeeland en Flevoland (klei) en Oost-Brabant (zand). De percelen in Zeeland en Flevoland zijn geselecteerd uit de praktijknetwerken aldaar, terwijl in Brabant nieuwe bedrijven zijn gezocht via PPO-Vredepeel en Stichting Veldleeuwrik. Per regio is een selectie gemaakt van percelen met een relatief hoog ofwel laag aandeel graan- of rustgewassen in de afgelopen jaren, in vergelijking met de rest van de regio. Bij alle bedrijven is gemeten op een perceel waar dat jaar aardappel heeft gestaan (het meest voorkomende gewas), of waar dat niet mogelijk was is gekozen voor suikerbiet, wat het meest vergelijkbaar is. Zo is de variatie door gewas zoveel mogelijk uitgesloten. Er is gemeten op 6 bedrijven in Zeeland, 9 in Flevoland en 6 in Brabant.

Zeeland:

Behandeling	Herhalingen	Beschrijving
Weinig graan	3	gemiddeld 15% graan
Veel graan	3	gemiddeld 47% graan

Flevoland:

Behandeling	Herhalingen	Beschrijving
Weinig graan	4	gemiddeld 18% graan
Veel graan	5	gemiddeld 47% graan

Brabant:

Behandeling	Herhalingen	Beschrijving
Weinig graan	4	gemiddeld 0% graan
Veel graan	2	gemiddeld 25% graan

Compost op centrale klei (Lelystad WUR - Flevoland)

Twee experimenten op de Broekemahoeve in Lelystad zijn bemeten waarin de effecten van toediening van compost worden onderzocht. In het eerste experiment wordt bemest met groencompost, en in het tweede experiment met maaimeststoffen.

Het experiment met groencompost heeft als startjaar 2011 en ligt in een gangbare gewasrotatie met zomergerst, zaaui of doperwt, poot aardappelen en suikerbieten. Het lutumgehalte van deze bodem is 12%. Op een perceel waar in 2019 doperwten hebben gestaan zijn worden 3 behandelingen met elkaar vergeleken: bemesting met 20 ton/ha groencompost, bemesting met 40 ton/ha groencompost, en een standaardbehandeling zonder bemesting met compost. Alle percelen krijgen een even grote hoeveelheid stikstofbemesting met kunstmest. Dit wordt jaarlijks toegepast.

Behandeling	Herhalingen	Beschrijving
Standaard	4	geen compost, 100% kunstmest
Compost enkel	4	20 ton/ha compost, aanvullen met kunstmest
Compost dubbel	4	40 ton/ha compost, aanvullen met kunstmest

In het tweede experiment, met startjaar 2012, wordt bemest met maaimeststoffen. Het gaat hier om bemesting met ingekuilde grasklaver van een nabijgelegen perceel. Dit experiment ligt in een biologisch bouwplan met consumptie aardappel, grasklaver, pompoen, zomertarwe, winterpeen, stamslaboon. In 2019 stond hier winterpeen. Er worden 3 behandelingen met elkaar vergeleken: twee hoeveelheden van bemesting met maaimeststoffen, en een behandeling zonder bemesting met maaimeststoffen. Op alle percelen wordt in het najaar vaste mest uitgereden. In het voorjaar wordt drijfmest uitgereden op het perceel zonder maaimeststoffen. Op het tweede perceel wordt de drijfmest vervangen voor de maaimeststof, met een dusdanige hoeveelheid dat de hoeveelheid werkzame stikstof gelijk is. Op het laatste perceel wordt de drijfmest vervangen voor de dubbele hoeveelheid daarvan.

Behandeling	Herhalingen	Beschrijving
Standaard	4	drijfmest
Maaimeststof enkel	4	maaimeststof, N werkzaam gelijk
Maaimeststof dubbel	4	maaimeststof dubbele hoeveelheid

Compost en dierlijke mest op centrale klei (Lelystad LBI – Flevoland)

In het proefveld 'Mest als Kans', gelegen op een biologisch bebouwd perceel in Lelystad, worden sinds 1999 dertien verschillende bemestingsstrategieën met elkaar vergeleken. De hoeveelheden blijven binnen de wettelijke bemestingsnormen. Afhankelijk van het soort bemesting is daarmee ófwel de stikstof limiterend, ófwel de fosfaat, ófwel de hoeveelheid droge stof. In onderstaande tabel staat per mestsoort aangegeven wat de beperkende factor is, en de gemiddelde hoeveelheid

aangevoerde organisch materiaal (over de periode 1999-2016). Het perceel draait mee in de vruchtwisseling van het bedrijf. De afgelopen 5 jaar is er suikermis, pastinaak, zomergers, en zoete aardappel verbouwd, met gerst of rogge als groenbemester. Het lutumgehalte van deze bodem is 6%.

Behandelingen zijn grotendeels aanvullend op de metingen uit 2018. Omdat in 2019 ook metingen met de BLN-indicatorset zijn toegevoegd, is een beperkt aantal behandelingen uit 2018 opnieuw gemeten.

Behandeling	Herhalingen	Beschrijving
kunstmest	2*	67 kg N werkzaam/ha/jr, gemiddelde aanvoer OS: 0 kg/ha/jr
drijfmest	4	67 kg N werkzaam/ha/jr, gemiddelde aanvoer OS: 1426 kg/ha/jr
kippenmest	3**	80 kg fosfaat/ha/jr, gemiddelde aanvoer OS: 1601 kg/ha/jr
potstalmest	4	67 kg N werkzaam/ha/jr, gemiddelde aanvoer OS: 4533 kg/ha/jr
GFT	4	4000 kg droge stof/ha/jr, gemiddelde aanvoer OS: 1525 kg/ha/jr
groencompost	2*	4000 kg droge stof/ha/jr, gemiddelde aanvoer OS: 1426 kg/ha/jr
natuurcompost	4	80 kg fosfaat/ha/jr, gemiddelde aanvoer OS: 6149 kg/ha/jr
GFT+drijfmest	4	67 kg N werkzaam/ha/jr, gemiddelde aanvoer OS: 2852 kg/ha/jr

*Hiervan zijn slechts 2 herhalingen beschikbaar omdat deze plots in 2019 niet meer bemeten konden worden

**Hiervan zijn slechts 3 herhalingen beschikbaar ivm verongelukken monster in het laboratorium

Melkveehouderij

Niet kerende grondbewerking Noordelijk zand (Marwijksoord - Drenthe)

In dit experiment op proeflocatie Open Teelten in Marwijksoord in Drenthe, met startjaar 2012, worden verschillende tussenvormen van niet-kerende grondbewerking met elkaar vergeleken in gangbare continuteelt van mais. Bij deze proef gaat het om grondbewerking, die ingepast is als een systeem aanpassing. Dit houdt in dat de keuze van groenbemester ook verschillend zijn voor verschillende grondbewerkingen, om het best werkbaar systeem te vinden. Voor de standaard grondbewerking wordt gebruik gemaakt van spitten, daarnaast is er een behandeling met woelen, en 3 behandelingen met een strokenfrees. Deze 3 behandelingen verschillen onderling in de toepassing van de groenbemester. In alle gevallen gaat het hier om gras als groenbemester. In het eerste geval (strokenteelt A) wordt het gras doodgespoten op hetzelfde moment als bij spitten en woelen, in maart. In de tweede behandeling (strokenteelt B) wordt na een jaar maisteelt vervolgens een jaar grasteelt gedaan. Mais en gras worden dus jaarlijks afgewisseld, en het gras wordt pas doodgespoten vlak voor het inzaaien van de mais in mei. Hierdoor is er ruimte om een snede te maaien voordat het doodgespoten wordt. In de laatste behandeling (strokenteelt C) is het grasland blijvend, en wordt het in mei geremd in plaats van doodgespoten met een verdunde versie van het gewasbeschermingsmiddel Titus. Zodoende kan er ook een snede gemaaid worden voor het zaaien van de mais uit, en blijft het gedurende het seizoen tussen de maisstroken in leven.

Behandeling	Herhalingen	Beschrijving
Spitten	3	Spitten op 25 cm, nazaai rogge, doodspuiten in mrt
Woelen	3	Woelen op 25 cm, nazaai mengsel van rogge & wintererwt, doodspuiten in mrt
Strokenteelt A	3	Strokenfrees, 12 cm breed 10-12 cm diep, nazaai engels raaigras, doodspuiten in mrt
Strokenteelt B	3	Wisselteelt mais gras: maisteelt met strokenfrees, 12 cm breed 10-12 cm diep, nazaai engels raaigras, vol teeltjaar, doodspuiten in mei
Strokenteelt C	3	Strokenfrees, 12 cm breed 10-12 cm diep, blijvend gras, snede maaien, remmen met Titus ipv doodspuiten

Diepwortelende gewassen zuidelijk zand (Brabant)

Bij dit experiment op een biologisch melkveebedrijf in de omgeving van Helvoirt wordt het effect van diepmengen in grasland gemeten. Op een perceel waar ca. 10 jaar oud grasland werd gescheurd en opnieuw ingezaaid is in 2019 middels spitten de organische stof-rijke bovenlaag vermengd met de arme onderlaag. De verwachting is dat het gras hierdoor dieper zal gaan wortelen en zo enerzijds resistenter zal zijn tegen droogte en anderzijds over een groter diepteverloop koolstof vastlegt. Er worden 3 behandelingen met elkaar vergeleken: spitten tot op 30 cm, 50 cm en 80 cm.

Aangezien de proef in 2019 is gestart, betreft dit een nulmeting. Dat wil zeggen dat de metingen van dit jaar informatie geven over het effect van de grondbewerking. In de komende jaren kan gemeten worden hoe dit de bodemkwaliteit en koolstofvastlegging verder beïnvloedt.

Behandeling	Herhalingen	Beschrijving
standaard	4	Spitten op 30 cm
50 cm	4	Spitten op 50 cm
80 cm	4	Spitten op 80 cm

Leeftijd grasland (scheuren uitstellen) op noordelijke klei (Friesland)

In aanvulling op de metingen in 2018 zijn in 2019 metingen gedaan om de koolstofvastlegging voor een aantal leeftijden van grasland nog beter in beeld te krijgen. Daartoe zijn percelen met verschillende leeftijden van grasland op praktijkbedrijven in verschillende regio's onderzocht. Voor kleigronden is er gemeten op drie bedrijven in Friesland, en voor zandgronden is gemeten op drie bedrijven in Brabant.

Klei (Friesland)

Behandeling	Gemiddelde leeftijd (jaar)	Aantal percelen
0-1 jaar	1	7
2-5 jaar	3	1
6-10 jaar	9	4
11-20 jaar	17	3
>20 jaar	28	7

Zand (Brabant)

Behandeling	Gemiddelde leeftijd (jaar)	Aantal percelen
0-1 jaar	0	10
2-5 jaar	3	7
6-10 jaar	8	5
11-20 jaar	15	5
>20 jaar	50	1

Omdat het aantal percelen per categorie nogal verschilde, en ook de gemiddelde leeftijd van de categorieën op klei en zand verschilde, zijn de gegevens geanalyseerd door middel van regressie analyse.

Wisselteelt mais en gras (Brabant en Gelderland)

Naast permanent grasland hebben veel melkveebedrijven tijdelijk grasland en maisteelt. Dit kan als een soort permanente teelten, of door in verschillende frequentie af te wisselen. Uit proeven (van

Eekeren, 2008) blijkt dat één systeem in deze wisselteelt, namelijk een driejarige wisselteelt tussen mais en gras(klaver) onder anderen resulteerde in een optimaal organische stofgehalte. Op bedrijfsniveau kan dat ingezet worden op 40% van het areaal van het bedrijf, dus 20% mais en 20% grasklaver. Daarbij kan de overige 60% van het bedrijf permanent grasland blijven, waar de organische stof binnen de gegeven bedrijfsvoering gemaximaliseerd kan worden.

Het doel van deze maatregel is om te meten wat de netto winst in organische stofvastlegging kan zijn bij het toepassen van 60-20/20 (permanent gras-grasklaver/mais). In 2019 zijn op twee bedrijven in Brabant, beiden zandgrond, percelen bemonsterd die binnen 60-20/20 passen. Dit is een eerste stap naar het verder in kaart brengen van deze maatregel. Hierbij wordt de vastlegging van tot 3 jaar maisland en gras(klaver) gemeten en kan het positieve effect t.o.v. permanente maisteelt vastgesteld worden. In onderstaande Tabel staan de mogelijke behandelingen (met tot 3 jaar oude mais en grasklaver) en het aantal percelen dat in 2019 per behandeling is bemonsterd. In de komende jaren zullen meer metingen volgen, en ontstaat een compleet beeld van de effecten van deze maatregel.

Wisselteelt mais en grasland. Er is gemeten op percelen van praktijkbedrijven, in tijdelijk maisland en grasland van verschillende leeftijden.

leeftijd	wisselteelt		permanent gras 60%
	gras (klaver) 20%	mais 20%	
1 jaar	1	3	NVT
2 jaar	3	-	NVT
3 jaar	-	-	NVT
meerjarig	NVT	NVT	1

Bijlage 2. Details Modelberekeningen vastlegging van CO₂ in de gewasrotatie

In het verslag Bodem & Klimaat Netwerk – Akkerbouw, Voortgangsrapportage april 2020 worden een aantal alternatieve gewasrotaties besproken. Hiervan is economisch uitgerekend hoeveel een dergelijke aanpassing zou verschillen wat saldo betreft van het huidige meest gebruikte rotatie per regio in Nederland. Voor dezelfde rotaties is voor vier regio's uitgerekend wat een dergelijke aanpassing oplevert in termen van extra koolstofvoorraad en CO₂ vastlegging. De tabel op de volgende pagina toont de rotaties met hun benaming. In deze tabel worden voor de verschillende gewassen de onderstaande afkortingen gebruikt:

Lijst met gebruikte afkortingen:

Afkortingen	Gewas	Afkortingen	Gewas
CA	Consumptieaardappel	SB	Suikerbiet
CE+SSB	Conserven-erwt met volgteelt stamslaboon	SP	Spelt
Gb	Groenbemester (na hoofdgewas)	TU-V	Tulp verhuur
GK	Grasklaver	UI	zaai-Uien
GR	Grasland vervuur	VL	Vlas
GZ	Graszaad	Wasp	Waspeen
LE-V	Lelie verhuur	WP	Winterpeen
LU	Luzerne	WT	Wintertarwe
PA	Pootaardappel	ZA	Zetmeel aardappel
SN+VG	Snijmais met vanggewas winterrogge	ZG	Zomergerst

Voor de Modelberekeningen in NDICEA worden de volgende regio specifieke startwaarden van de bodemparameters gebruikt (afkomstig uit metingen in de Netwerken Bodem & Klimaat en de LTE's op het zuidelijke zand):

Regio	Lutum (%)	pH	OS (%)
Centrale Zeeklei Flevoland	21	7,4	3,8
Centrale Zeeklei Noordoostpolder	21	7,4	3,8
Noordelijke Zand- en Dalgrond	2,1	5,2	8,1
Zuid Oostelijke Zand	1,2	5,7	4,1

De aanpassingen in de rotaties:

Re- gio	Variant 1 extra graan							
	Refe- rentie	Variant 1 extra graan	Variant 2 extra groenbe- mester	Variant 3 maximaal groenbemester	Variant 4 50% graan	Variant 5 50% graan plus groenbemester	Variant 6 standaard met grasklaver	
	j _r	gewas	gewas	gewas	gewas	gewas	gewas	
Centrale Zeeklei Flevoland CZKF	1	CA	CA	CA	CA+gb	UI	UI	CA
	2	SB	SB	SB	SB	WT	WT+gb	SB
	3	UI	WT	WT+gb	WT+gb	CA	CA	UI
	4	WT+gb	UI	UI	UI	WT	WT+gb	GK
	5		WT+gb	WT+gb	WT+gb	WP	WP	GK
	6					WT	WT+gb	
		Refe- rentie	Variant 1 extra graan	Variant 2 extra groenbe- mester	Variant 3 maximaal groenbemester	Variant 4 50% graan	Variant 5 50% graan plus groenbemester	Variant 6 standaard met grasklaver
Centrale Zeeklei Noordoostpolder CZKN	1	PA	WT	WT+gb	WT+gb	WT	WT+gb	PA
	2	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB
	3	UI	UI	UI	UI+gb	WT	WT+gb	Ui
	4	PA	PA	PA	PA	PA	PA	PA
	5	WT+gb	WT+gb	WT+gb	WT+gb	WT	WT+gb	GK
	6	TU-V	TU-V	TU-V	TU-V	TU-V	TU-V	GK
		Refe- rentie	Variant 1 extra graan	Variant 2 extra groenbe- mesters	Variant 3 rustgewas	Variant 4 graan en rustgewas		
Noordoostelijk Zand en dal gebied NON	1	ZA	ZA	ZA	ZA	ZA		
	2	SB	SB	SB	SB	ZG+gb		
	3	ZA	ZG	ZG+gb	GK	ZG+gb		
	4	ZG+gb	ZG	ZG+gb	GK	SB		
	5	ZA				GK		
	6	ZG+gb				GK		
		Refe- rentie	Variant 1 extra graan	Variant 2 extra groenbe- mester	Variant 3 maximaal groenbemester	Variant 4 grasland verhuur		
Zuid Oost Nederland ZOZ	1	CA	CA	CA	CA+gb	CA		
	2	SN+VG	ZG	ZG+gb	ZG+gb	SN+VG		
	3	Wasp	Wasp	Wasp	Wasp+gb	Wasp		
	4	CE+SBB	ZG	ZG+gb	ZG+gb	CE+SBB		
	5	CA	CA	CA	CA+gb	CA		
	6	SB	ZG	ZG	ZG+gb	SB		
	7	SN+VG	LE-V	LE-V	LE-V+gb	GR		
	8	LE-V	ZG	ZG+gb	ZG+gb	GR		

Bijlage 3. Matrix ten behoeve van de technische implementatie

Matrix met daarin de gewassen zoals geregistreerd in het BRP en de maatregelen zoals opgenomen in de LTE's. Kolom areaal geeft aan op hoeveel hectare een gewas voorkomt op de Nederlandse landbouwbodems. 1 = maatregel kan worden toegepast op dit gewas; 0 = maatregel kan niet worden toegepast op dit gewas. Waarde tussen 0 en 1 geeft aan dat een maatregel maar op een deel van het gewas kan worden toegepast.

Gewas/ Maatregel	Leeftijd grasland	Mais in gras	Kruiden-rijk grasland	Bouwplan - extra graan	Bouwplan: rustge- wassen	Bouwplan: groenbe- mester	Minimale gbw	Org. stof inp.	Areaal (ha)
Bulbs	0	0	0	1	1	0.67	1	1	25915
Cons_pot	0	0	0	1	1	0.25	1	1	75904
Corn_cob_mix	0	0	0	1	1	0	1	1	3519
Fibres	0	0	0	0.5	0.5	0.5	1	1	4830
Fodder_beet	0	0	0	1	1	0.1	1	1	1523
Fodder_maize	0	0.5	0	1	1	0.25	1	1	204975
grasseed	0	0	0	0	0	0	1	1	12356
Green_man_Nfix	0	0	0	0	0	0	1	1	1114
Green_manure	0	0	0	0	0	0	1	1	6133
Luzerne	0	0	0	0	0	0	1	1	7493
Maize	0	0.5	0	1	1	0.25	1	1	9881
Nat_gras	0	0	1	0	0	0	0	0	86756
oats	0	0	0	0	1	1	1	1	1526
Onion	0	0	0	1	1	0.75	0	1	34730
Other_cereals	0	0	0	0	1	1	1	1	1007
Perm_gras	0	0	1	0	0	0	0	1	720197
Pulses	0	0	0	1	1	0.75	1	1	7580
Rye	0	0	0	0	1	1	1	1	1592
Seed_pot	0	0	0	1	1	1	1	1	42157
Starch_pot	0	0	0	1	1	0.1	1	1	44434
Strawberry	0	0	0	1	1	0.5	1	1	2792
Sugarbeet	0	0	0	1	1	0.1	1	1	85041
Summer_barley	0	0	0	0	1	1	1	1	20852
Summer_wheat	0	0	0	0	1	1	1	1	8414
Temp_gras	1	0	1	0	0	0	1	1	212062
Triticale	0	0	0	0	1	1	1	1	1241
Vegetables	0	0	0	1	1	0.5	0.75	1	44085
winter_barley	0	0	0	0	1	1	1	1	9261
Winter_wheat	0	0	0	0	1	1	1	1	107614
Totaal opp. landbouwgrond									1784983

Berekend areaal waar een maatregel kan worden toegepast, gebaseerd op resultaten uit Tabel 1.
Onderverdeling naar grondsoort is in deze tabel niet opgenomen.

Gewas/Maatregel	Areaal (ha)							
	Leeftijd grasland	Mais in gras	Kruidenrijk grasland	Bouwplan - extra graan	Bouwplan - rustgewassen	Bouwplan - groenbemester	Minimale gbw	Org stof inp
Bulbs	0	0	0	25915	25915	17363	25915	25915
Cons_pot	0	0	0	75904	75904	18976	75904	75904
Corn_cob_mix	0	0	0	3519	3519	0	3519	3519
Fibres	0	0	0	2415	2415	2415	4830	4830
Fodder_beet	0	0	0	1523	1523	152	1523	1523
Fodder_maize	0	22488	0	204975	204975	51244	204975	204975
grasseed	0	0	0	0	0	0	12356	12356
Green_man_Nfix	0	0	0	0	0	0	1114	1114
Green_manure	0	0	0	0	0	0	6133	6133
Luzerne	0	0	0	0	0	0	7493	7493
Maize	0	4941	0	9881	9881	2470	9881	9881
Nat_gras	0	0	86756	0	0	0	0	0
oats	0	0	0	0	1526	1526	1526	1526
Onion	0	0	0	34730	34730	26047	0	34730
Other_cereals	0	0	0	0	1007	1007	1007	1007
Perm_gras	0	0	720197	0	0	0	0	20197
Pulses	0	0	0	7580	7580	5685	7580	7580
Rye	0	0	0	0	1592	1592	1592	1592
Seed_pot	0	0	0	42157	42157	42157	42157	42157
Starch_pot	0	0	0	44434	44434	4443	44434	44434
Strawberry	0	0	0	2792	2792	1396	2792	2792
Sugarbeet	0	0	0	85041	85041	8504	85041	85041
Summer_barley	0	0	0	0	20852	20852	20852	20852
Summer_wheat	0	0	0	0	8414	8414	8414	8414
Temp_gras	212062	0	212062	0	0	0	212062	12062
Triticale	0	0	0	0	1241	1241	1241	1241
Vegetables	0	0	0	44085	44085	22042	33064	44085
winter_barley	0	0	0	0	9261	9261	9261	9261
Winter_wheat	0	0	0	0	107614	107614	107614	107614
Totaal	212062	27428	1019015	584950	736457	354402	932280	98227
Percentage tov totaal areaal landbouwgrond	12%	6%	57%	33%	41%	20%	52%	95%

Bijlage 4. Metingen aan de ondergrond in de LTE's

Tabel 1. Effecten van niet kerende grondbewerking in de akkerbouw op de koolstofvoorraad en CO₂ vastlegging, t.o.v. ploegen in de ondergrond (30-60 cm)

Behandeling	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO ₂ /ha/jaar)
Centrale klei			
Ploegen	0,66 a	26,0 a	
NKG	0,63 a	24,7 a	-0,43
Vlaamse klei			
Ploegen	0,58 b	26,5 b	
NKG	0,38 a	17,2 a	-2,44**
Zuidelijk zand			
ploeg - standaard - erwt	0,88 a	40,3 a	
NKG - standaard - erwt	0,67 a	31,1 a	-3,74
ploeg - laag - erwt	0,47 a	22,1 a	
NKG - laag - erwt	0,39 a	18,3 a	-1,55
ploeg - standaard - prei	0,95 a	45,3 a	
NKG - standaard - prei	0,55 a	26,3 a	-7,75
ploeg - laag - prei	1,22 a	55,5 a	
NKG - laag - prei	1,07 a	48,9 a	-2,65

Tabel 2. Effecten van gewasrotaties met meer graan op de ondergrond (30-60 cm)

Behandeling	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (indicatief berekend met 30 jaar) (ton CO ₂ /ha/jaar)
Centrale klei			
Weinig graan	1,62 a	57,5 a	
Veel graan	1,35 a	48,0 a	-1,16
Zeeuwse klei			
Weinig graan	0,55 a	24,3 a	
Veel graan	1,56 a	69,3 a	5,49
Zuidelijk zand			
Weinig graan	0,93 a	43,4 a	
Veel graan	0,94 a	43,7 a	0,04
Alle drie de gebieden, gecorrigeerd voor gebiedsverschil (stratum)			
Weinig graan	1,39 a	47,9 a	
Veel graan	1,57 a	56,9 a	1,09

Tabel 3. Effecten van toediening van mest en compost op de centrale kleigronden, in de bovengrond (30-60 cm)

Behandeling	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO ₂ /ha/jaar)
Centrale klei, compost (Lelystad WUR - Flevoland)			
Kunstmest	0,59 a	24,9 a	
Compost 20 ton	0,61 a	25,8 a	0,38
Compost 40 ton	0,59 a	24,9 a	0
Centrale klei, maaimeststoffen (Lelystad WUR - Flevoland)			
Drijfmest	0,68 a	26,5 a	
Maaimeststoffen Standaard	0,72 a	26,1 a	-0,18
Maaimeststoffen dubbel	0,68 a	28,0 a	0,67
Centrale klei, compost en dierlijke mest (Lelystad LBI - Flevoland)			
Kunstmest	0,55 a	23,0 a	
Drijfmest	0,51 a	21,4 a	-0,29
Kippenmest	0,42 a	17,7 a	-0,93
Potstalmest	0,48 a	20,1 a	-0,51
GFT	0,46 a	19,4 a	-0,64
Groencompost	0,48 a	19,9 a	-0,55
Natuurcompost	0,43 a	18,1 a	-0,86
GFT+drijfmest	0,50 a	20,9 a	-0,37

Tabel 4. Effect van verschillende toepassingsvormen van niet kerende grondbewerking in de veehouderij (maisteelt) op de koolstofvoorraad en CO₂ vastlegging, t.o.v. spitten in de ondergrond (30-60 cm)

Behandeling	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO ₂ /ha/jaar)
Noordelijk zand			
Spitten, continu maisteelt	1,29 a	59,3 a	
NKG woelen, continu mais met nazaai rogge+wintererwt	0,89 a	40,9 a	-8,43
NKG strokenfrees, continu mais met nazaai gras	0,60 a	27,8 a	-14,48
NKG strokenfrees, 1-jarige wisselteelt mais gras	0,43 a	19,8 a	-18,13
NKG strokenfrees, continu mais met daartussen blijvend gras (geremd)	0,63 a	28,8 a	-13,98

Tabel 5. Effecten van leeftijd grasland (niet scheuren) in de ondergrond (30-60 cm). In rood aangegeven gegevens omvatten beide slechts 1 perceel in een categorie, dat bovendien afweek van de trend. Deze metingen zijn uit de analyse gelaten vanwege deze afwijking in combinatie met het ontbreken van herhalingen.

Categorie	Gemiddelde leeftijd grasland	Aantal percelen	C-elementair	Koolstof voorraad	Vastlegging
(jaar)	(jaar)		(%)	(ton C/ha)	(ton CO ₂ /ha/jaar)
Noordelijke klei					
0-1 j	1	7	1,70	74,8	
2-5 j	3	1	1,27	55,9	
6-10 j	9	4	1,91	84,1	-0,34
11-20 j	17	3	1,54	67,8	
>20 j	28	7	1,59	70,0	
Zuidelijk zand					
0-1 j	0	10	1,13	51,2	
2-5 j	3	7	1,31	59,6	
6-10 j	8	5	1,12	50,8	-0,20
11-20 j	15	5	1,14	51,7	
>20 j	50	1	0,20	9,1	

Tabel 6. Eerste metingen voor de maatregel mais-gras wisselteelt voor de ondergrond (30-60 cm). Het aantal bemonsterde percelen is nog te klein om hier een verdere analyse op te doen.

Categorie	Aantal percelen	C-elementair	Koolstof voorraad	Vastlegging
(jaar)		(%)	(ton C/ha)	(ton CO ₂ /ha/jaar)
Zuidelijk zand				
Wisselteelt gras				
1 j	1	0,70	35,1	n.v.t.
2 j	3	1,10	49,6	n.v.t.
3 j	0			
Wisselteelt mais				
1 j	2	0,40	19,2	n.v.t.
2 j	0			
3 j	0			
Meerjarig				
gras	0			
mais	0			

Bijlage 5. BLN-indicatoren

Overzicht van de resultaten van de gemeten BLN-indicatoren in de laag 0-30 cm. Een dikgedrukte cel geeft een significant effect ($p < 0,05$) weer van een behandeling (maatregel).

	%	%	%	mg kg-1	%	%	%	Mpa	g ml-1	cm3/cm3	cm3/cm3	cm3/cm3	cm3/cm3	pH-CaCl2	mg N kg-1	kg ha-1	mg P kg-1		mg P2O5/100 g	mg K kg-1	mmol+ kg-1	kg N ha-2	mg C kg-1	mg C kg-1	%	%	
	C-elementair Dumas (2 dec)	OS-Gloeiverlies	O.S. - NIRS	HWC	Klei	Silt	Zand	Indringingsweerstand gemiddeld	Bulldichtheid 15 cm (WVV)	pF0	pF 2.0	pF 2.7	pF 4.2		N-totaal	N-min najaar CaCl2	P-beschikbaar (P-PAE)		P-beschikbaar (Pw)	P-voorraad (PAL)	K-beschikbaar (K-PAE)	K-voorraad (NIRS)	Pot min. N (PMN) - NIRS	Bacteriële biomassa	Schimmel biomassa	% Scherpblokkigheid	storende laag
Niet kerende grondbewerking (akkerbouw)																											
Centrale klei																											
Ploegen	0.93	3.21	2	357	15	34	43	0.4	1.5	0.43	0.33	0.28	0.15	7.6	860	13	0.8	24.8	42	67	3.1	23	34.8	24	11	50	
NKG	0.97	3.3	2.03	368	16	35	41	0.8	1.57	0.42	0.32	0.28	0.15	7.6	900	13	1	25	40.3	60.8	3.48	21.8	42.3	36	10	75	
Vlaamse klei																											
Ploegen	1.3	3.52	2.38	666	12	36	50	0.5	1.4	0.44	0.33	0.27	0.08	6.2	1423	16	0.7	17.3	22	76.5	2.8	50.3	186	148	6.3	75	
NKG	1.27	3.43	2.43	669	11	42	45	0.6	1.5	0.43	0.32	0.27	0.09	6.1	1395	13	0.9	17.3	19.8	72.5	3.2	50.3	194	137	7.5	25	
Zuidelijk zand																											
ploeg - standaard - erwt	2.41	4.34	4.3	541	1	10	86	0.7	1.3	0.09	0.04	0.04	0.04	5.8	0	8.1	1.6	37	46.3	46	2.08	12	19	9.8	46	75	
NKG – standaard - erwt	2.17	4.13	4.13	532	1	6	89	0.9	1.3	0.45	0.17	0.12		5.9	0	11	1.6	37.5	47.3	45.8	1.8	7.25	33.8	21	40	10	
ploeg - laag - erwt	1.83	3.13	3.25	365	1	7	89	0.6	1.4	0.32	0.10	0.07		5.5	0	9.2	1.5	32.3	39.8	39.5	1.38	7.75	10	6	28	25	
NKG - laag - erwt	1.23	3.03	3.13	388	1	7	89	0.8	1.4	0.07	0.03	0.03		5.5	0	6.7	1.3	31	39	43.8	1.33	6.5	10	6	35	75	
ploeg - standaard - prei	2.41	4.69	4.58	741	1	9	86	1	1.4	0.43	0.20	0.14	0.04	5.9	1280	13	1.8	38	45.5	72.5	1.93	12.8	48.5	36	2.5	75	
NKG - standaard - prei	2.09	4.04	4.15	657	1.3	9	86	1.2	1.5	0.42	0.19	0.12	0.03	5.7	1105	7.9	2	39.3	46.3	85.5	2.1	16.5	20.3	8.3	0	10	
ploeg - laag - prei	2.25	4.25	4.25	659	1.3	7	89	0.5	1.2	0.44	0.17	0.12	0.03	5.5	1155	6.7	1	27.3	35.5	68.8	1.55	24	27.3	13	2.5	75	
NKG - laag - prei	1.93	4.14	4.15	743	1.3	9	86	1.5	1.4	0.40	0.19	0.13	0.03	5.6	1110	7.8	1.6	32.8	39.3	111	1.85	10.3	30.3	20	0	75	
Niet kerende grondbewerking (veehouderij)																											
Noordelijk zand																											
Spitten, continu maisteelt	2.75	5.19	4.93	881	1.7	10	53	1.6	1.34	0.45	0.26	0.17	0.05	5.6	1497	9.9	1.3	28.7	57	51.7	2.27	31.7	85	70	43	67	
NKG woelen, continu mais r	2.82	5.27	5.13	826	1.3	13	81	1.9	1.34	0.45	0.25	0.17	0.05	5.7	1563	10	1.6	43.7	57.7	54.7	2.03	31.7	67.3	72	33	10	
NKG strokenfrees, continu r	3.14	5.97	5.63	942	1.3	13	80	2.2	1.4	0.42	0.27	0.19	0.04	5.7	1687	9.9	1.4	47	65.3	59.3	2.2	32.7	84.7	68	47	10	
NKG strokenfrees, 1-jarige v	2.79	5.29	5.17	855	1.3	13	80	2.2	1.39	0.41	0.26	0.18	0.04	5.6	1507	12	2.1	45.3	54.7	63.3	1.83	26.3	86.3	77	35	67	
NKG strokenfrees, continu r	2.79	5.31	5.17	968	1.7	13	80	2.4	1.25	0.36	0.22	0.16	0.05	5.6	1680	9.5	1.5	41.3	55	123	2.2	30.7	91	63	35	67	

	C-elementair Dumas (2 dec)	OS-Gloeiverlies	O.S. - NIRS	HWC	Klei	Silt	Zand	Indringingsweerstand gemiddeld	Bulkdichtheid 15 cm (WVV)	pF 0	pF 2.0	pF 2.7	pF 4.2	pH-CaCl2	N-totaal	N-min najaar CaCl2	P-beschikbaar (P-PAE)	P-beschikbaar (Pw)	P-voorraad (PAL)	K-beschikbaar (K-PAE)	K-voorraad (NIRS)	Pot min. N (PMN) - NIRS	Bacteriële biomassa	Schimmel biomassa	% Scherpblokkigheid	storende laag
	%	%	%	mg kg-1	%	%	%	Mpa	g ml-1	cm3/cm3	cm3/cm3	cm3/cm3	cm3/cm3		mg N kg-1	kg ha-1	mg P kg-1		mg P2O5/100 g	mg K kg-1	mmol+ kg-1	kg N ha-2	mg C kg-1	mg C kg-1	%	%
Verbetering gewasrotaties																										
Centrale klei																										
weinig graan	1.71	5.1	3.2	513	23	40	27	0.6	1.38	0.46	0.40	0.37	0.20	7.5	1570	20	1.2	30	52	88	5.7	18	73	46	29	100
veel graan	1.86	5.1	3.2	690	24	35	32	0.6	1.34	0.45	0.38	0.35	0.19	7.1	1708	15	1.4	32	54	117	6.1	27	104	74	35	60
Zeeuwse klei																										
weinig graan	0.96	3.4	2.1	456	20	28	43	1.1	1.47	0.42	0.35	0.31	0.11	7.4	1227	11	0.9	28	47	82	4.3	27	88	58	22	100
veel graan	1.73	5.4	3.1	607	32	36	24	0.4	1.36	0.46	0.38	0.35	0.15	7.5	1893	13	1.5	37	66	110	7.7	41	144	93	33	100
Zuidelijk zand																										
weinig graan	2.15	4.1	3.7	716	2	11	85	0.9	1.47	0.41	0.24	0.20	0.04	5.9	1380	10	7.2	113	119	72	2.3	26	55	42	34	0
veel graan	2.36	4.2	4.1	746	1	9	87	0.5	1.26	0.48	0.19	0.16	0.04	5.5	1270	7	7.9	107	100	88	2.3	31	61	42	15	0
Compost en dierlijke mest																										
Centrale klei, compost																										
kunstmest	0.91	3.04	1.83	377	15	36	42	0.5	1.43	0.45	0.30	0.27	0.13	7.6	820	8.6	1.3	26.8	39	63	2.78	25.5	42.8	29	10	10
20 ton compost	1.01	3.19	1.88	408	15	34	44	0.5	1.44	0.46	0.31	0.28	0.13	7.6	947.5	7.7	0.6	22.8	38.8	51.8	3.15	25.5	56.5	25	6.3	75
40 ton compost	1.14	3.56	2.25	457	15	36	42	0.6	1.43	0.45	0.31	0.28	0.13	7.5	1005	9.2	0.7	24.8	44.5	61.5	3.95	27.3	69.3	55	0	10
Centrale klei, maaimeeststoffen																										
drijfmest	1.03	3.48	1.95	477	17	38	38	0.6	1.41	0.41	0.35	0.29	0.16	7.5	952.5	7	1.3	25	33.5	54.3	3.53	22.3	55.8	40	10	0
maaimeststoffen standaard	1.12	3.64	2.1	486	17	39	36	0.5	1.41	0.42	0.34	0.30	0.12	7.6	1005	9.3	0.7	21.3	31.5	61	3.68	27	69.3	41	11	0
maaimeststoffen dubbel	1.15	3.7	2.15	511	18	37	37	0.6	1.37	0.42	0.36	0.29	0.14	7.5	1063	10	0.7	22.3	35.8	73.8	4.35	26	64.8	39	10	25
Centrale klei, compost en dierlijke mest																										
kunstmest	0.89	2.41	1.8	338	7.5	28	61	0.4	1.52	0.39	0.29	0.21	0.12	7.4	810	5.4	0.9	26.5	45	66	3.45	22.5	42.5	45	53	0
drijfmest	0.89	2.41	1.93	355	7	23	65	0.8	1.52	0.41	0.30	0.23	0.10	7.4	852.5	6.5	0.9	25.5	42	76.8	3.78	21.3	41	32	39	25
kippenmest	0.97	2.46	1.93	360	7	24	64	0.4	1.51	0.38	0.28	0.22	0.09	7.4	923.3	7	1.5	32.5	53.8	73	3.58	23.8	47	32	35	50
potstalmest	1.03	2.63	2.1	421	6.5	24	65	0.7	1.43	0.35	0.24	0.15	0.11	7.4	962.5	5.6	1.6	31.3	48	132	4	20.3	58.5	45	46	10
GFT	0.99	2.52	2.05	339	7.3	28	60	0.7	1.48	0.36	0.25	0.16	0.10	7.4	905	6.8	1.2	27.5	43.5	61.5	3.88	18.5	35.8	18	48	25
groencompost	0.88	2.43	2	364	6.5	24	65	0.3	1.5	0.33	0.23	0.15	0.10	7.4	865	9	0.9	25	41.5	67	3.45	22	46.5	38	55	50
natuurcompost	1.13	2.82	2.33	443	6.8	24	64	0.5	1.47	0.34	0.25	0.16	0.08	7.5	1080	11	1.1	28.5	47.5	74.3	3.98	26.3	48.8	42	56	25
GFT+drijfmest	1.03	2.58	2.05	422	7	25	63	0.4	1.45	0.36	0.24	0.17	0.14	7.4	1003	7.2	1.6	32.3	50.5	97.8	3.6	27.5	54.5	42	49	10
gelijk gebleven	toename	afname																								