

# Evaluatie van maatregelen voor koolstofvastlegging na zes jaar meten op Lange Termijn Locaties

J.A.B. Schepens, B.G.H. Timmermans, J. Bloem, L.M. Fuchs,  
J.J.P. Cruijssen, T. Slier, D.T. Heupink, J.P. Wagenaar en C.J. Koopmans

# Colofon

Dit rapport is tot stand gekomen binnen het Project 'Evaluatie van de effectiviteit van koolstof vastleggende maatregelen', in het kader van het Beleidsondersteunend Programma Slim Landgebruik (BO-53-002).

Review: Janjo de Haan<sup>2</sup>

Januari 2024

Contact: [j.schepens@louisbolk.nl](mailto:j.schepens@louisbolk.nl)

J.A.B. Schepens<sup>1</sup>, B.G.H. Timmermans<sup>1</sup>, J. Bloem<sup>2</sup>, L.M. Fuchs<sup>2</sup>, J.J.P. Cruijssen<sup>2</sup>, T. Slier<sup>2</sup>, D.T. Heupink<sup>1</sup>, J.P. Wagenaar<sup>1</sup> en C.J. Koopmans<sup>1</sup> (2024). Evaluatie van maatregelen voor koolstofvastlegging na zes jaar meten op Lange Termijn Locaties

<sup>1</sup>Louis Bolk Instituut <sup>2</sup>Wageningen University & Research

© 2024 Louis Bolk Instituut

Publicatienummer: 2023-031 LbP

81 pagina's

Deze publicatie is beschikbaar via  
[www.louisbolk.nl/publicaties](http://www.louisbolk.nl/publicaties)

# Inhoudsopgave

Samenvatting .....	5
1 Inleiding .....	8
1.1 Achtergrond .....	8
1.2 Doelstelling .....	9
1.3 Leeswijzer .....	9
2 Methode .....	11
2.1 Aanpak voor het kwantificeren van koolstofvastlegging door de verschillende maatregelen .....	11
2.2 Meetlocaties .....	11
2.3 Samenvattende analyse .....	14
2.4 Samenvoegen van meerdere LTL's per maatregel .....	16
3 Resultaten .....	18
3.1 Beschrijving resultaten per maatregel .....	18
3.2 Aanpassen gewasrotatie (aandeel graan, graszaad, luzerne, hennep) .....	23
3.3 Groenbemesters/vanggewassen .....	23
3.4 Extra compost .....	23
3.5 Extra vaste mest en drijfmest .....	24
3.6 Niet kerende grondbewerking in de akkerbouw .....	24
3.7 Niet kerende grondbewerking in mais na gras .....	24
3.8 Akkerranden .....	24
3.9 Meer blijvend grasland en Leeftijd grasland verhogen .....	25
3.10 Wisselteelt mais-gras(klaver) .....	25
3.11 Kruidenrijk grasland .....	25
3.12 Agroforestry (op grasland) .....	25
4 Discussie per maatregel .....	26
4.1 Aanpassen gewasrotatie .....	26
4.2 Groenbemesters/vanggewassen .....	27
4.3 Extra compost .....	28
4.4 Extra vaste mest en drijfmest .....	28
4.5 Niet kerende grondbewerking (akkerbouw) .....	29
4.6 Niet kerende grondbewerking (mais na gras) .....	30
4.7 Akkerranden .....	30
4.8 Meer blijvend grasland en leeftijd grasland verhogen .....	30
4.9 Wisselteelt mais-gras (klaver) .....	34
4.10 Kruidenrijk grasland .....	35
4.11 Agroforestry (op grasland) .....	35

5	Algemene discussie .....	37
6	Conclusies.....	40
7	Referenties .....	43
	Bijlage 1: Metingen 2021, 2022 en voorjaar 2023 per maatregel.....	46
	Statistiek.....	47
	Aanpassen gewasrotatie (aandeel graan).....	47
	Aanpassen gewasrotatie (aandeel luzerne/graszaad/hennep) .....	50
	Groenbemesters .....	53
	Meerjarige akkerranden.....	55
	Agroforestry akkerbouw op Centrale klei.....	57
	Kruidenrijk grasland op Centraal zand en Zuidelijk zand .....	59
	Agroforestry Veehouderij op Zuidelijk zand .....	62
	Vanggewassen bij maisteelt op Centrale klei (Lelystad - Flevoland).....	65
	NKG-maisteelt bij maisteelt op Centrale klei (Lelystad - Flevoland) .....	68
	Bijlage 2: Aanvullende informatie metingen 2021 en 2022.....	70
	Bijlage 3: Roth-C modellering LTL-groenbemesters (Asendorf - Duitsland).....	75
	Introductie.....	75
	Methode .....	76
	Resultaten .....	78
	Conclusies .....	81

# Samenvatting

Nederland heeft als doel om vanaf 2030 jaarlijks 0,5 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten extra vast te leggen in minerale landbouwbodems. Deze doelstelling komt voort uit het Klimaatakkoord (2019) en is uitgewerkt in het Nationaal Programma Landbouwbodems (2020). Om hierop te kunnen inzetten is een overzicht nodig van welke landbouwpraktijken en maatregelen in Nederland effectief zijn om bij te dragen aan koolstofvastlegging in de bodem.

## Methoden van evaluatie maatregelen

In het onderzoeksprogramma Slim Landgebruik zijn tussen 2018 en 2023 jaarlijks metingen verricht om de zekerheid van koolstofvastlegging van verschillende landbouwkundige maatregelen te evalueren. De metingen vormen daarnaast een basis om te evalueren of de effecten zoals berekend voor de nationale schaal met het model Roth-C aansluiten bij hetgeen onder Nederlandse condities mag worden verwacht. Basis voor de in de praktijk te gebruiken gegevens is de CO<sub>2</sub> bodemtabel (Slier et al., 2022). Voor deze studie is gemeten op 21 locaties, waarbij enkele buiten Nederland lagen. Er is gezocht naar Lange Termijn Locaties (LTL's), waarin bepaalde maatregelen die langjarig zijn uitgevoerd vergeleken konden worden met een referentie: in veldproeven en anders door een vergelijking van een groot aantal praktijkpercelen. In deze rapportage zijn de resultaten van de metingen van 2018-2022 gebundeld en wordt er per maatregel een overzicht gegeven van de gemeten bijdrage aan koolstofvastlegging en de onzekerheid ervan.

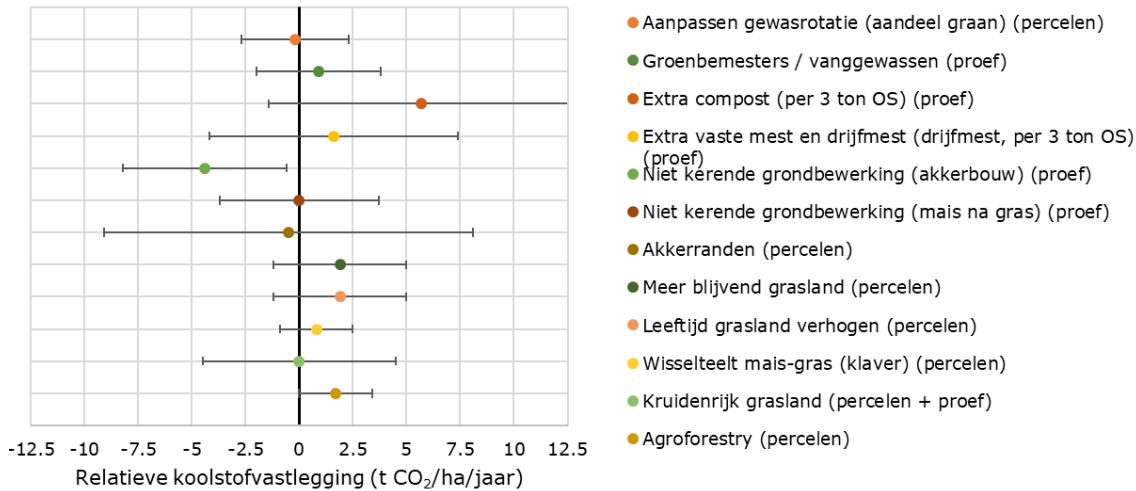


*Kaart van alle Lange Termijn Locaties (LTL's) waar maatregelen zijn geëvalueerd. Achter de maatregelen staan de afkortingen voor de locaties (zie Tabel 1 en 2).*

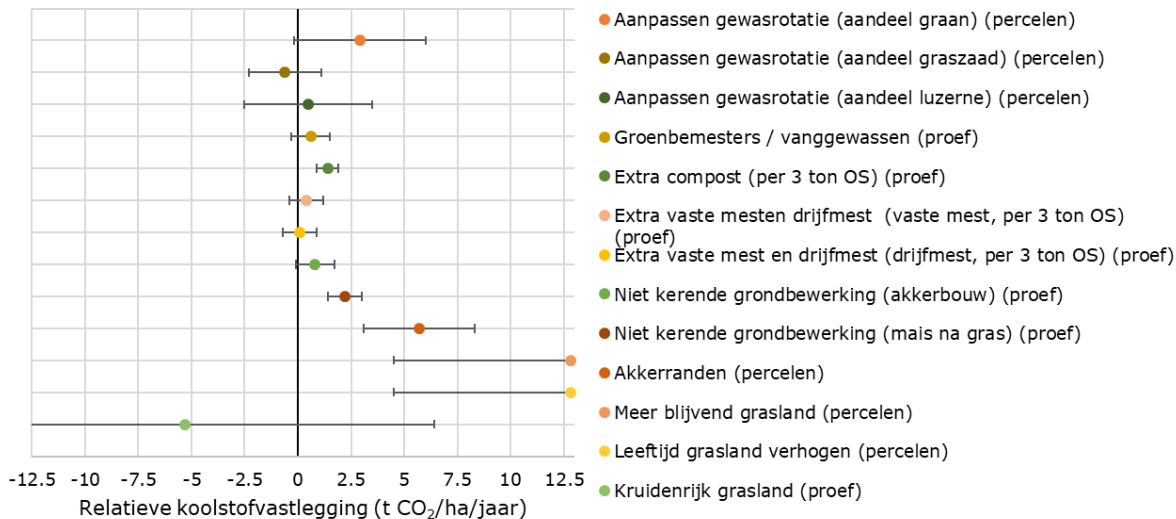
## Resultaten

Onderstaande figuur geeft een overzicht van de onderzochte maatregelen van 2018-2022.

Zand (0-30 cm)



Klei (0-30 cm)



Gemiddelde relatieve koolstofvastlegging (ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar) per maatregel voor zandgrond en kleigrond in de bouwvoor (0-30 cm). De errorbalk in de grafiek geeft het 95% betrouwbaarheidsinterval aan. Wanneer deze balk de 0-lijn niet doorkruist is er sprake van een significant effect van de maatregel ( $P < 0.05$ ).

## Effectiviteit van de maatregelen

In de akkerbouw gaf aanpassen van de gewasrotatie, bemeten op praktijkpercelen, een positieve trend van gemiddeld 2,9 CO<sub>2</sub>/ha/jaar op klei in de bouwvoor bij meer graan in de rotatie. Op zandgrond en voor andere rustgewassen werden geen aantoonbare effecten gevonden. Voor groenbemesters en vanggewassen is in de veldproeven geen aantoonbaar effect gemeten op de bodemkoolstof. De maatregel compost toevoegen gaf op alle veldproeven op klei een positief effect, met een koolstofvastlegging van gemiddeld 1,4 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar. Op zuidelijk zand en in de Veenkoloniale zandgronden is geen aantoonbaar effect gevonden. De extra beschikbaarheid van compost op Nederlandse schaal is echter beperkt. Voor de maatregel NKG (niet-kerende grondbewerking) in de akkerbouw op kleigrond is geen

effect op de koolstofvastlegging gevonden. In de ondergrond (30-60 cm) was sprake van een negatief effect, d.w.z. extra koolstof afbraak door NKG. Op zandgrond is er een significant negatief effect gevonden van NKG voor zowel de bovengrond (0-30 cm) en ook voor de ondergrond (30-60 cm). De maatregel meerjarige akkerranden gaven, in de bemeten praktijkpercelen, een gemiddelde koolstofvastlegging van 5,7 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar op klei. In de ondergrond is ook een positief effect gevonden. Op zand is geen effect aangetoond.

In de veehouderij is, voor kleigronden, een aantoonbaar positief effect gevonden van de maatregelen 'meer blijvend grasland' en 'leeftijd grasland verhogen'. Beide maatregelen zijn bemeten op praktijkpercelen. In de ondergrond was ook sprake van een significant positief effect. Op zandgrond was het effect van deze maatregelen niet significant. De maatregel wisselteelt mais-grasklaver, welke alleen op praktijkpercelen op zand bemeten is, toonde geen significant effect. Wel is bij een veldproef van NKG in de maisteelt op kleigrond een verminderde afbraak zichtbaar van koolstof die is opgebouwd in meerjarig grasland (2,2 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar). Op zandgrond is er geen effect van NKG in de maisteelt. De LTL's voor kruidenrijk grasland hadden een korte looptijd en tonen geen aantoonbare effecten. De maatregel agroforestry laat op bemeten graslandpercelen een positieve trend zien met een koolstofvastlegging in de bodem van gemiddeld 1,7 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar in de strook tot 20m van de bomenrij.

## Discussie

Door het gebruik van consistente meetmethoden en bemonsteringsprotocollen voor zowel veldproeven als praktijkpercelen, was het mogelijk om effectieve vergelijkingen te maken tussen het toepassen van een maatregel voor koolstofvastlegging en de referentie(s) zonder de maatregel. In deze analyse is een groot verschil gevonden tussen zand en klei in de zekerheid van de koolstofvastlegging. In het algemeen was de zekerheid van de koolstofvastlegging het grootst op kleigronden, gevolgd door zandgronden en Veenkoloniale gronden, zoals blijkt uit de grote betrouwbaarheidsintervallen. Verschillen in bodemkenmerken (zoals kleigehalte, initiële organische stofgehalte, heterogeniteit) bepalen de meetbaarheid en de grootte van de effecten. De mate van koolstofvastlegging door een specifieke maatregel is dus niet overal hetzelfde. Het verschil in looptijd tussen de veldproeven is ook van belang bij de interpretatie van de gemeten effecten, aangezien een langere looptijd de zekerheid vergroot. Bij afwezigheid van veldproeven is uitgeweken naar vergelijkingen met zo veel mogelijk praktijkpercelen. Hierbij zijn significante effecten gevonden voor meer blijvend grasland, leeftijd grasland verhogen en akkerranden, maar mogelijk overschaduwden verschillen in historisch management en bodemkenmerken het effect bij andere maatregelen, zoals aanpassen gewasrotatie en kruidenrijk grasland. Dit benadrukt het belang van (langlopende) veldproeven onder Nederlandse omstandigheden. Dit is ook van belang om te bepalen of er bij de relatieve koolstofvastlegging van een maatregel sprake is van een minder dalende of meer stijgende trend in de koolstofvoorraad. De gegevens verzameld in dit onderzoek, kunnen verder bijdragen aan het verbeteren van koolstofmodellen die specifiek zijn aangepast aan de Nederlandse context (onze bodems, klimaat, vruchtwisseling, bemesting en mechanisatie), waarbij extra aandacht nodig is voor de onzekerheid van koolstofvastlegging op zandgronden. Mogelijk dat dit extra metingen van de koolstofvastlegging op zandgrond bij toekomstige monitoring noodzakelijk maakt.

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Als uitvloeisel van het Klimaatakkoord uit 2019 heeft de landbouwsector zich gecommitteerd aan klimaatdoelstellingen. Een onderdeel daarvan is het doel om 0,5 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar vast te leggen in minerale landbouwbodems, met ingang van 2030. Deze doelstelling is één van de twee pijlers van het Nationaal Programma Landbouwbodems (NPL). De tweede pijler is dat alle landbouwbodems (1.8 miljoen hectare) in 2030 duurzaam beheerd worden.

Het doel van Slim Landgebruik is het leveren van de kennis die nodig is om te komen tot de jaarlijkse vastlegging van 0,5 M ton CO<sub>2</sub>-equivalenten. Hiertoe wordt onderzoek gedaan naar het effect van een relevante set van maatregelen (voortgekomen uit Lesschen et al., 2012) op koolstofvastlegging, lachgasemissie, bodemfuncties en kosten en baten. Binnen het programma wordt de effectiviteit van deze maatregelen, voor de specifieke omstandigheden in de Nederlandse landbouw, verkend via een combinatie van literatuur, model- en experimenteel onderzoek. Voortschrijdend inzicht wordt verwerkt in de CO<sub>2</sub>-Bodemtabel (Slier et al., 2021, 2022). De set van klimaatmaatregelen, met een korte toelichting, is:

1. **Aanpassen gewasrotatie:** het verhogen van het aandeel rustgewassen in de rotatie, van een laag aandeel naar een hoger aandeel (tot 50%). Gemeten is in de rustgewassen graan, graszaad, luzerne en vezelhennepe.
2. **Groenbemesters/vanggewassen:** inzet van groenbemesters/vanggewassen na de teelt van het hoofdgewas, welke vervolgens worden ingewerkt in de bodem.
3. **Extra compost:** het (deels) vervangen van kunstmest of drijfmest door extra compost.
4. **Extra vaste mest en drijfmest:** het (deels) vervangen van kunstmest in het teeltsysteem door extra vaste mest of extra drijfmest.
5. **Niet-kerende grondbewerking:** het afzien van intensief keren of mengen van de bodem, waarbij alleen de bovenlaag van de bodem wordt losgemaakt met woelers, tanden of schijven en gewasresten aan het oppervlak blijven.
6. **Akkerranden:** het inzetten van meerjarige onbemeste akkerranden in de vorm van kruid- en grasachtige gewassen langs sloten en/of wegen.
7. **Meer blijvend grasland:** het omzetten van akker en jong grasland naar blijvend grasland gedurende de eerste 5 jaar na omzetten.
8. **Leeftijd grasland verhogen:** het voorkomen dat grasland wordt gescheurd (omgezet in mais/akker) zodat de leeftijd van grasland toeneemt boven de 5 jaar.
9. **Wisselteelt mais-gras (klaver):** ook wel de 60-20-20 maatregel genoemd, waarbij het bedrijf wordt ingedeeld met 60% permanent grasland en 20% grasklaver in een driejarige rotatie met 20% mais. Hier worden percelen die in de afgelopen periode wisselteelt hadden vergeleken met percelen die akker waren (meestal mais) en percelen die jong (tijdelijk) grasland waren.



10. **Kruidenrijk grasland:** het inzetten van productieve graskruidenmengsels in plaats van enkel Engels raaigras.
11. **Agroforestry:** het telen van meerjarige houtige gewassen (vaak bomen) in een weide of als strook tussen akkergewassen.

In de CO<sub>2</sub>-Bodemtabel (Slier et al., 2022) wordt de verwachte effectiviteit van deze maatregelen in Nederland weergegeven. Voor een belangrijk deel is deze gebaseerd op modelberekeningen met het Roth-C model (Rothamsted Carbon model), dat ontwikkeld is op grond van (zeer) lange termijn veldproeven in Engeland. De metingen in Lange Termijn Locaties (LTL's) in het voorliggende onderzoek vormen een belangrijke bouwsteen om te toetsen of de effecten die we onder specifiek Nederlandse condities aantreffen (onze bodems, klimaat, vruchtwisseling, bemesting en mechanisatie), in dezelfde orde van grootte liggen als de modelvoorspellingen. Hierbij is er voor de verschillende maatregelen gezocht naar langlopende veldproeven of praktijkpercelen waarop een vergelijking kon worden gemaakt, met metingen in behandelingen/objecten mét en zonder toepassing van een maatregel. De resultaten voor onderzochte maatregelen zijn voor individuele jaren reeds eerder gerapporteerd in Koopmans et al., (2019), Koopmans et al., (2020), Koopmans et al. (2021) en samengevat in Schepens et al. (2022). De resultaten van 2021, 2022 en voorjaar 2023 zijn niet apart gepubliceerd, maar zijn in Bijlage 1 van deze rapportage opgenomen. Sommige maatregelen zijn echter in meerdere jaren gemeten. Het gecombineerd analyseren van deze metingen over meerdere jaren kan de zekerheid van de uitkomsten vergroten en een beter overzicht over de meetresultaten bieden.

## 1.2 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is driedelig:

1. De resultaten van 6 jaar metingen (2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023) in LTL's samen te vatten, om op basis daarvan een overzicht te creëren van de effectiviteit van de koolstofvastlegging voor de onderzochte maatregelen.
2. Daarnaast is het doel om per maatregel een bandbreedte aan te geven van de betrouwbaarheid van de gemeten effecten van de koolstofvastlegging.
3. Deze gegevens vormen daarnaast een basis, om een antwoord te formuleren op de onderzoeksvraag of de orde van grootte van effecten zoals berekend met het Roth-C model overeenkomt met wat onder Nederlandse condities (onze bodems, klimaat, vruchtwisseling, bemesting en mechanisatie) te verwachten is. Dit resulteert vervolgens in een update van de CO<sub>2</sub> Bodemtabel.

In de voorliggende rapportage wordt de focus gelegd op de eerste twee doelen.

## 1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 (Methode) wordt het plan van aanpak beschreven om tot een goede dataset voor de meerjarige analyse te komen. Vervolgens worden de verschillende LTL's benoemd met ligging en looptijden en een verwijzing naar de oorspronkelijke rapportage waarin meer details over de LTL's zijn opgenomen. Ten slotte wordt de statistische analyse beschreven. In hoofdstuk 3 (Resultaten) worden de resultaten besproken, en gepresenteerd in figuren en tabellen. In hoofdstuk 4 (Discussie per maatregel) en hoofdstuk 5 (Algemene discussie) wordt met behulp van de resultaten inzicht gegeven in hoe effectief en hoe zeker de metingen aan de verschillende maatregelen tot nu toe zijn. Daar waar mogelijk worden de resultaten vergeleken met literatuur

(andere en eerdere metingen) en worden beperkingen besproken. In Bijlage 1 staan de LTL's welke in 2021, 2022 en 2023 (voorjaar) zijn bemeten beschreven met daarbij de resultaten. In Bijlage 2 staat aanvullende informatie over de LTL's. En in Bijlage 3 staan de resultaten van modelmatige doorrekeningen (RothC) van de groenbemesterproef in Asendorf (Duitsland).

## 2 Methode

### 2.1 Aanpak voor het kwantificeren van koolstofvastlegging door de verschillende maatregelen

De effectiviteit van de koolstofvastlegging voor verschillende landbouwkundige maatregelen is in het programma Slim Landgebruik via meerdere lijnen bepaald. We richten ons hier op 2 lijnen:

1. Er is een volwaardig lange termijn veldproef beschikbaar waarbij een klimaatrelevante maatregel wordt vergeleken met een referentiebehandeling. De duur van deze veldproef is meerdere jaren (>5 jaar) en de behandelingen hebben minimaal 3 (gewarde) herhalingen.
2. Een wetenschappelijk lange termijn veldproef ontbreekt maar literatuuronderzoek en Lesschen (2012) geven aan dat een maatregel een potentiële bijdrage aan de koolstofvastlegging geeft. In dit geval worden praktijkpercelen onderzocht waarbij een vergelijking kan worden gemaakt tussen percelen mét de maatregel en percelen waarbij de maatregel achterwege is gelaten. Ook kan de maatregel in oplopende mate worden toegepast. Dit betreft bijvoorbeeld de maatregel 'leeftijd van grasland verhogen' met een oplopend aantal jaren sinds de inzaai van het grasland. Dit geeft een schatting van de effectiviteit van een maatregel door de jaren heen.

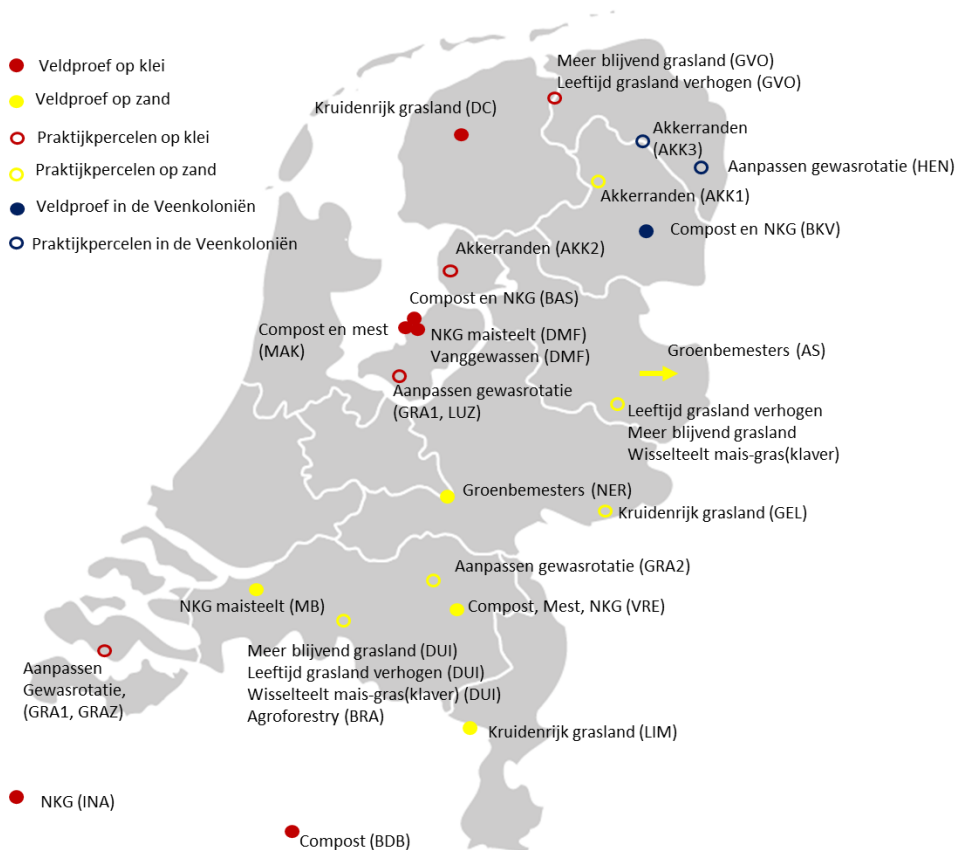
### 2.2 Meetlocaties

Gedurende de jaren 2018 tot voorjaar 2023 zijn er metingen aan de eerdergenoemde maatregelen gedaan in diverse lopende veldproeven en op praktijkpercelen met constant beheer over een langere periode binnen een regio en bodemtype. Beide typen vergelijkingen zijn in deze rapportage samengenomen met de term LTL's. Tabel 1, Tabel 2 en Figuur 1 geven aan welke LTL's zijn meegenomen in de huidige samenvatting van de meetjaren 2018-2023. In de tabellen zijn ook de referenties opgenomen naar de jaarrapportages en achtergrondinformatie over de veldproeven en geselecteerde behandelingen.

Om het bovenstaande doel (paragraaf 1.2) te bereiken zijn de volgende stappen doorlopen:

1. Combineren van de in zes jaar verzamelde gegevens tot één dataset met daarin (in zoverre mogelijk) specificering van de behandeling per maatregel, bodemtype, jaar en locatie.
2. Per maatregel en grondsoort zijn LTL's geselecteerd voor deze meerjarige analyse. Daarbij was het doel een zo compleet mogelijk overzicht van de metingen per maatregel en grondsoort te verkrijgen. Niet alle data waren geschikt om in deze overall analyse mee te nemen:
  - a. Zo bleek het 'extensieve bouwplan' uit 2018 op Zuidelijk zand achteraf nauwelijks onderscheidend van het bemeten 'intensieve bouwplan' en is om die reden buiten beschouwing gelaten.
  - b. Voor de maatregelen waarbij een perceelvergelijking is gemaakt (maatregels 1, 7, 8 en 9), is per perceel gecontroleerd of de behandelingen overeenkwamen met de verwachting aan de hand van RVO gegevens. Percelen waarbij toch een afwijking geconstateerd werd zijn vervolgens uit de analyse gelaten.

- c. De akkerranden die in 2020 zijn bemonsterd op Zuidelijke klei (Bedrijven – Hoeksche Waard) zijn uit de huidige analyse gelaten aangezien bleek dat er slootbagger op de akkerranden was opgebracht, waardoor het effect van de akkerrand zelf niet te bepalen was. Hiervoor in de plaats zijn nieuwe metingen uit 2021 in akkerranden in Flevoland meegenomen in de analyse.
- Per LTL is de koolstofvastlegging per maatregel bepaald, inclusief het 95% betrouwbaarheidsinterval van de vastlegging.
  - Wanneer er meerdere LTL's beschikbaar waren per maatregel en grondsoort is er een gemiddelde vastlegging en een 95% betrouwbaarheidsinterval over meerder LTL's bepaald.



*Figuur 1 Kaart van alle Lange Termijn Locaties (LTL's) waar maatregelen zijn geëvalueerd. Achter de maatregelen staan de afkortingen voor de locaties (zie Tabel 1 en 2). De veldproef over groenbemesters ligt in Midden-Duitsland en is aangegeven met een pijl naar rechts.*

Tabel 1 Overzicht van de verschillende LTL's in de akkerbouw die zijn geselecteerd voor de huidige analyse met uitleg over de vergelijking van de behandelingen. De jaren 2021, 2022 en 2023 zijn vetgedrukt aangezien dit metingen zijn die aanvullend zijn op de samenvatting van de resultaten in Schepens et al. (2021). In Bijlage 1 staan de resultaten van de metingen uit deze jaren.

Maatregel	Naam LTL	Type LTL	Indeling grondsoort regio	Afkorting	Jaar bemonsterd	Looptijd LTL (jaar)	Proefopzet verwijzing
Aanpassen gewasrotatie (aandeel graan)	Zuidelijk zand (bedrijven - Brabant)	Praktijk-percelen	Zand	GRA2	2019+ <b>2021</b>	~30	Koopmans et al., 2020
	Centrale klei (bedrijven - Flevoland) Zuidelijke klei (bedrijven - Zeeland)	Praktijk-percelen	Klei	GRA1	2019+ <b>2021</b>	~30	Koopmans et al., 2020
Aanpassen gewasrotatie (aandeel luzerne)	Centrale klei (bedrijven - Flevoland)	Praktijk-percelen	Klei	LUZ	<b>2022</b>	~30	Bijlage 1
Aanpassen gewasrotatie (aandeel graszaad)	Zuidelijke klei (bedrijven - Zeeland)	Praktijk-percelen	Klei	GRAZ	<b>2022</b>	~30	Bijlage 1
Aanpassen gewasrotatie (aandeel hennep)	Noordelijk zand (bedrijven - Groningen)	Praktijk-percelen	Veenkoloniën	HEN	<b>2022</b>	~30	Bijlage 1
Groenbemesters/vanggewassen	Centraal zand (Wageningen - WUR)	Veldproef	Zand	NER	2020	5	Koopmans et al., 2021
	Duitse löss (Nedersaksen - Asendorf) <sup>4</sup>	Veldproef	Zand	AS	<b>2021</b>	6	Bijlage 1
Extra compost, vaste mest en drijfmest	Zuidelijk zand (Vredepeel - WUR) <sup>2</sup>	Veldproef	Zand	VRE'18 + VRE'19	2018+ 2019	8 (compost) 13/14(mest)	Koopmans et al. 2019, 2020
	Noordelijk zand (Bodemkwaliteit Veenkoloniën - WUR)	Veldproef	Veenkoloniën	BKV	2018	5	Koopmans et al., 2019
	Centrale klei (Lelystad - LBI)	Veldproef	Klei	MAK'19	2019 <sup>3</sup>	20-21	Koopmans et al., 2020
	Centrale klei (Lelystad - WUR)	Veldproef	Klei	BAS'19	2019	9	Koopmans et al., 2020
	Vlaamse leem (Bierbeek - Belgische Bodemkundige Dienst)	Veldproef	Zavel (ingedeeld bij klei)	BDB	2020	23	Koopmans et al., 2021
Niet-kerende grondbewerking	Centrale klei (Lelystad - WUR) <sup>1</sup>	Veldproef	Klei	BAS'18 + BAS'19	2018+ 2019	10-11	Koopmans et al. 2019, 2020
	Zuidelijk zand (Vredepeel - WUR) <sup>2</sup>	Veldproef	Zand	VRE'18 + VRE'19	2018+ 2019	8-9	Koopmans et al. 2019, 2020
	Noordelijk zand (Valthermond - WUR)	Veldproef	Veenkoloniën	BKV	2018	5	Koopmans et al. 2019;
	Vlaamse klei (Rumbeke-Beitem - België)	Veldproef	Klei	INA	2019	14	Koopmans et al., 2020
Meerjarige akkerranden	Noordelijk zand (bedrijven - Groningen)	Praktijk-percelen	Veenkoloniën	AKK3	2020	11	Koopmans et al., 2021
	Noordelijk zand (bedrijven - Drenthe)	Praktijk-percelen	Zand	AKK1	<b>2021</b>	~9	Bijlage 1
	Centrale klei (Bedrijven - Flevoland)	Praktijk-percelen	Klei	AKK2	<b>2021</b>	~8	Bijlage 1

<sup>1</sup> in (Koopmans et al., 2019) is de behandeling NKG-geoptimaliseerd vergeleken met ploegen. Recent bleek dat hier 8-jaarlijks ondiep wordt geploegd, vanaf 2017/2018. Voor de huidige analyse is zowel in 2018 als 2019 de NKG-tussenvorm vergeleken met ploegen.

<sup>2</sup> in 2018 en 2019 zijn verschillende objecten bemonsterd op Proefbedrijf Vredepeel. In 2019 zijn geen behandelingen bemonsterd met compost toevoegingen.

<sup>3</sup> De meting in Mest als Kans in 2018 is niet meegenomen aangezien in 2019 een groter aantal objecten in dezelfde LTL zijn bemonsterd.

<sup>4</sup> Voor de huidige analyse zijn groenbemesterbehandelingen in de rotatie met veldboon gezamenlijk vergeleken met de behandeling die 's winters braak ligt.

Tabel 2. Overzicht van de verschillende LTL's in de veehouderij die zijn geselecteerd voor de huidige analyse met uitleg over de analysemethode. De jaren 2021, 2022 en 2023 zijn vetgedrukt aangezien dit metingen zijn die aanvullend zijn op de samenvatting van de resultaten in Schepens et al. (2021). In Bijlage 1 staan de resultaten van de metingen uit deze jaren. Voor de maatregelen waarbij geen looptijd is weergegeven was deze per perceel variabel (zie paragraaf 3.3).

Maatregel	Naam LTL	Type LTL	Indeling grondsoort-regio	Afkorting	Jaar	Looptijd	Proefopzet verwijzing
Groenbemesters / vanggewassen	Centrale klei (Lelystad – Flevoland)	Veldproef	Klei	DMF	<b>2022</b>	14	Bijlage 1 <sup>4</sup>
Niet-kerende grondbewerking	Zuidelijk zand (de Moer – Brabant)	Veldproef	Zand	MB	2018	7	Koopmans et al. 2019 <sup>3</sup>
	Centrale klei (Lelystad – Flevoland)	Veldproef	Klei	DMF	2018 + <b>2022</b>	10 en 14	Koopmans et al. 2019 <sup>3</sup> en Bijlage 1
Meer blijvend grasland	Noordelijke klei (bedrijven – Friesland/Groningen)	Praktijk-percelen	Klei	GVO	2018 + 2019 + <b>2022</b>	-	Koopmans et al. 2019, 2020
	Zuidelijk zand (bedrijven – Brabant)	Praktijk-percelen	Zand	DUI	2018 + 2019 + 2020 + <b>2022</b>	-	Koopmans et al. 2019, 2020, 2021
Leeftijd grasland verhogen	Noordelijke klei (bedrijven – Friesland/Groningen)	Praktijk-percelen	Klei	GVO	2018 + 2019 + <b>2022</b>	-	Koopmans et al. 2019, 2020
	Zuidelijk zand (bedrijven – Brabant)	Praktijk-percelen	Zand	DUI	2018 + 2019 + 2020 + <b>2022</b>	-	Koopmans et al. 2019, 2020, 2021
Wisselteelt mais-gras (klaver)	Zuidelijk zand (bedrijven – Brabant)	Praktijk-percelen	Zand	DUI	2020 + <b>2022</b>	~30	Koopmans et al., 2021
Kruidenrijk grasland	Noordelijke klei (Dairy Campus – Friesland)	Veldproef	Klei	DC	2020	3	Koopmans et al., 2021 <sup>1,2</sup>
	Zuidelijk zand (Kelpen Oler – Limburg)	Veldproef	Zand	LIM	2018 + 2020 + <b>2023</b>	3	Koopmans et al., 2021 <sup>1</sup>
	Centraal zand (bedrijven – Achterhoek)	Praktijk-percelen	Zand	GEL	<b>2021</b>	2-3	Bijlage 1
Agroforestry	Zuidelijk zand (bedrijven – Brabant)	Praktijk-percelen	Zand	BRA	<b>2021</b>	~30	Bijlage 1

<sup>1</sup> Voor deze analyse is gras vergeleken met de behandeling met het kruidenmengsel Biodivers Primair Weidevogels (BPW), aangezien BPW en gras de twee uiterste behandelingen zijn. In voorgaande rapportages werd dit de behandeling met >15 kruiden genoemd.

<sup>2</sup> Bij de kruidenproef op klei zijn alleen de behandelingen geselecteerd onder het beheer van drijfmest en geen uitgestelde maaidatum. Dit aangezien de kruidenrijk grasland vergelijking mét stalmest en uitgestelde maaidatum een gecombineerde maatregel vergelijkt. Effecten van alleen inzet van kruidenrijk grasland is daardoor moeilijk los te koppelen van de inzet van stalmest en verandering in management.

<sup>3</sup> Bij deze veldproeven is gekozen om ploegen te vergelijken met woelen in stroken en niet met de strokenfrees aangezien dit de behandeling zijn die het meeste van elkaar verschillen.

<sup>4</sup> De vanggewasbehandeling met gras is vergeleken met de behandeling die 's winters braak ligt.

## 2.3 Samenvattende analyse

Voor deze rapportage is voorgebouwd op de rapportage van Schepens et al. (2022). Er is toegewerkt naar één waarde voor koolstofvastlegging per maatregel, bepaald met bijbehorende bandbreedte van betrouwbaarheid (95% betrouwbaarheidsinterval). Deze geeft aan dat het voor 95% zeker is dat het gemiddelde effect van een maatregel binnen het gespecificeerde interval valt.

De koolstofvastlegging is bepaald door eerst de koolstofvoorraad te bepalen. De koolstofvoorraad is berekend met een behandeling-specifieke bodemdichtheid per laag, als de dichtheid significant verschilde per behandeling. Als dit niet het geval was is met de gemiddelde dichtheid van een LTL gerekend, per bodemlaag. Voor de maatregelen meer blijvend grasland, leeftijd grasland verhogen en wisselteelt mais-gras (klaver) is een afwijkende aanpak gebruikt. Bij deze maatregelen is gerekend met dezelfde bulkdichtheid van alle behandelingen in een bodemlaag, zijnde het gemiddelde over de verschillende objecten per bodemsoort. Daarmee wordt het effect

van de maatregel bij een gelijk gewicht grond bepaald. Dit is vergelijkbaar met het rekenen met een 'equivalent soil mass' (of ESM), waarvan de berekening wordt uitgelegd in Mikha et al. (2013) en Wendt et al. (2013). Dit is nodig voor maatregelen met een groot effect, waarvan verwacht mag worden dat met het organische stofgehalte ook de bodemdichtheid verandert zoals bij grasland. Vervolgens is gekeken naar het verschil tussen de referentie behandeling en de behandeling die onderzocht wordt met de koolstofmaatregel. Dit verschil is gedeeld door de looptijd van de proef en omgerekend naar CO<sub>2</sub>-equivalenten om een relatieve koolstofvastlegging te bepalen. Hierbij wordt aangenomen dat de referentiebehandeling zich in een steady state bevindt (met andere woorden dat het verschil tussen de behandeling met en zonder een maatregel ontstaan is door koolstof toename in de behandeling met de maatregel, en niet ook nog door een mogelijke simultane afname in de behandeling zonder de maatregel).

Alle data-analyses zijn uitgevoerd met het programma R (R Development Core Team, 2013). De data-analyses zijn per LTL uitgevoerd op de metingen in de 0-30 cm en 30-60 cm bodemlaag. Bij veldproeven is een lineair gemengd model gebruikt met behulp van de *lmer/lme4* packages in R (Bates et al., 2015; Kuznetsova et al., 2017) waarbij herhalingen als blok zijn meegenomen. Bij niet-geblokte vergelijkingen van praktijkpercelen is een reguliere ANOVA (lineair model) gebruikt. Bij de data-analyses is gecheckt op normaliteit en ongelijke variantie. Effecten waren significant bij een P-waarde <0,05. Van een trend wordt gesproken als  $p < 0,10$ , of indien sprake is van resultaten die in dezelfde richting wijzen in meerdere LTL's. Voor de analyse van de maatregelen dierlijke mest en compost toevoegen (akkerbouw) en meer blijvend grasland, leeftijd grasland verhogen, wisselteelt mais-gras (klaver) en agroforestry (veehouderij) zijn afwijkende analysemethoden gebruikt, gezien de aard van de gegevens. Deze worden in de twee paragrafen hieronder apart beschreven.

#### **Analyse van de maatregel dierlijke mest en compost toevoegen (Akkerbouw)**

De veldproeven met de maatregel *dierlijke mest en compost toevoegen* omvatten vaak meerdere behandelingen met verschillende hoeveelheden en typen toevoegingen van organische stof. Zo zijn er bij de proef op Centrale klei (BAS'19) proefbehandelingen met zowel 20 als 40 ton compost/ha (versgewicht), en heeft de proef op Centrale klei (MAK'19) verschillende soorten compost en mest. Om de resultaten van de verschillende LTL's van deze maatregel goed te kunnen vergelijken is de koolstofvastlegging bepaald aan de hand van de hoeveelheid toegevoegde (drooggewicht) organische stof van de behandelingen. Hiervoor is de hoeveelheid aangevoerde droge organische stof per behandeling opgezocht of nagevraagd. Er is onderscheid gemaakt tussen i) compost ii) vaste mest en iii) drijfmest, omdat deze een verschillende werking hebben. Voor de omrekening van verse compost en mest input (bijvoorbeeld 15 ton groencompost) naar droge organische stof ( $\approx 2.7$  ton) zijn metingen gebruikt als deze beschikbaar waren. In andere gevallen is de omrekening gebaseerd op het Handboek Bodem en Bemesting (*Handboek Bodem En Bemesting*, Tabel 8.1). Om de koolstofvastlegging ten gevolge van organische stof-input goed te kunnen vergelijken met andere maatregelen is de koolstofvastlegging uitgedrukt per 3 ton droge organische stof per hectare (hetgeen ongeveer overeenkomt met zo'n 40 ton/ha drijfmest, 20 ton/ha vaste mest en 15 ton/ha compost per jaar).

#### **Analyse van de maatregelen meer blijvend grasland, leeftijd grasland verhogen en wisselteelten mais-gras (klaver) (veehouderij)**

In de afgelopen vijf jaar (2018-2022) zijn elk jaar graslandpercelen bemonsterd om te onderzoeken of de maatregelen meer blijvend grasland, leeftijd grasland verhogen en wisselteelt

mais-gras(klaver) leiden tot koolstofvastlegging. In voorliggende rapportage zijn bemonsteringsjaren samengevoegd en integraal geanalyseerd. Ten behoeve van de selectie en analyse is het grondgebruik in de afgelopen 14 jaar nagegaan met behulp van de database van Boer & Bunder (www.boerenbunder). Op grond daarvan is de leeftijd van elk grasland bepaald. Percelen die langer dan 14 jaar grasland waren zijn in een groep '>14 jaar' geplaatst.

Omdat er sprake is van een correlatie op praktijkpercelen en geen experimentele proefopzet, zijn er mogelijk andere factoren die meespelen. Eén hiervan is het bodemtype. Dit varieerde ook binnen het bodemtype (zand of klei) in behoorlijke mate. Hierom zijn voor de analyse op kleigronden meetpunten met minder dan 10% kleideeltjes in de bodem niet meegenomen in de analyse. En andersom zijn voor de analyse van de zandgrond bodems met meer dan 10% kleideeltjes niet meegenomen. Om een verdere correctie voor de overige verschillen in kleiaandeel uit te voeren is vervolgens het kleipercentage als een co variabele meegenomen. Het aantal datapunten was te beperkt voor meer co variabelen of niet lineaire termen. Op de data is een lineaire regressie met één variabele uitgevoerd. Vervolgens is ook een ANOVA (unbalanced) uitgevoerd om behandelingen maisakker, graslanden tot 14 jaar oud, graslanden ouder dan 14 jaar en oude graslanden met een tussenjaar te vergelijken. Voor de maatregel 'meer blijvend grasland' is de koolstofvastlegging gedurende de eerste 5 jaar na het omzetten van een maisakker in een grasland gekwantificeerd. Voor de maatregel 'leeftijd grasland verhogen' is de koolstofvastlegging voor graslanden van 5 tot 14 jaar leeftijd genomen.

Op zandgrond is ook de maatregel wisselteelt mais-gras (klaver) geanalyseerd. Hiertoe zijn praktijkpercelen met wisselteelten geselecteerd en gemeten, in hetzelfde gebied als waar ook voor leeftijd grasland is gemeten. Om het effect van wisselteelt te bepalen, zijn deze percelen vergeleken met akkers en jonge graslanden (<14 jaar) in het gebied. Dit is gedaan omdat het logisch lijkt om bij deze maatregel akkers en jonge graslanden in een enigszins regelmatig wisselteelt patroon te bebouwen. Maar het is onwaarschijnlijk om als maatregel voor koolstofvastlegging oude graslanden in wisselteelt te gaan omzetten. Dit omdat de meeste oude graslanden hiervoor door ligging of lokale omstandigheden minder geschikt zullen zijn- ze zijn vaak met rede oud grasland. Deze keuze wordt vermeld in de discussie van de maatregel. Om het effect van wisselteelt te vertalen naar een koolstofvastlegging per jaar, is gerekend met gemiddelde een looptijd van 30 jaar (aanname).

#### **Analyse van agroforestry**

Bij de evaluatie van de maatregel 'agroforestry' in de veehouderij op zuidelijk zand is een lineaire regressie gebruikt. Voor de evaluatie van deze maatregel is op verschillende afstanden tot een bomenrij en een controle-rij gemeten in een transect (zie Bijlage 1, 0). In de lineaire regressie is de afstand meegenomen als co variabele en de behandeling (transect met en zonder bomenrij).

## **2.4 Samenvoegen van meerdere LTL's per maatregel**

In sommige gevallen zijn meerdere LTL's bemonsterd per maatregel en grondsoort. Dan gaat het om de maatregelen niet-kerende grondbewerking, extra vaste mest en drijfmest, en extra compost. Hiervoor zijn gemiddelde effecten voor meerdere LTL's en bemonsteringsjaren bepaald. Bij het samenvatten van de koolstofvastlegging (in CO<sub>2</sub> equivalenten) van meerdere LTL's of bemonsteringsjaren is gebruik gemaakt van de functie *metagen* in R uit het package *meta* (Schwarzer et al., 2015). Deze functie wordt gebruikt voor meta-analyses van meerdere



studies, en berekend een gemiddeld effect en betrouwbaarheidsinterval over meerdere studies. De meetlocaties in de Veenkoloniën, zoals de proef Bodemkwaliteit in de Veenkoloniën (BKV) (Valthermond - WUR), zijn apart geanalyseerd, aangezien de grondslag van deze bodem verschilt van andere veldproeven op zand. De bodems in de veenkoloniën worden gekenmerkt door een zeer hoog percentage organische stof (~11%) en een zeer grote variatie tussen de herhalingen, onder andere door verschillen in de aan- en afwezigheid van veenlaagjes in de bodem van de objecten.

## 3 Resultaten

### 3.1 Beschrijving resultaten per maatregel

In Tabel 3, Tabel 4 en Tabel 5 worden de resultaten van de meerjarige analyse gepresenteerd in ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar met een 95% betrouwbaarheidsinterval in de bouwvoor (0-30 cm) voor respectievelijk zand- en kleibodems. Hieronder worden de resultaten per maatregel besproken. In Figuur 2, Figuur 3 en Figuur 4 worden de resultaten nogmaals grafisch weergegeven voor de bouwvoor (0-30 cm) en de ondergrond (30-60 cm) van de zand- en kleigronden en de veenkoloniën.

Tabel 3. Samenvattend overzicht van het effect van maatregelen op de gemeten koolstofvastlegging op kleigronden (0-30 cm). Het 95% betrouwbaarheidsinterval geeft zicht op de spreiding. Vetgedrukte waarden zijn significant ( $p < 0,05$ ).

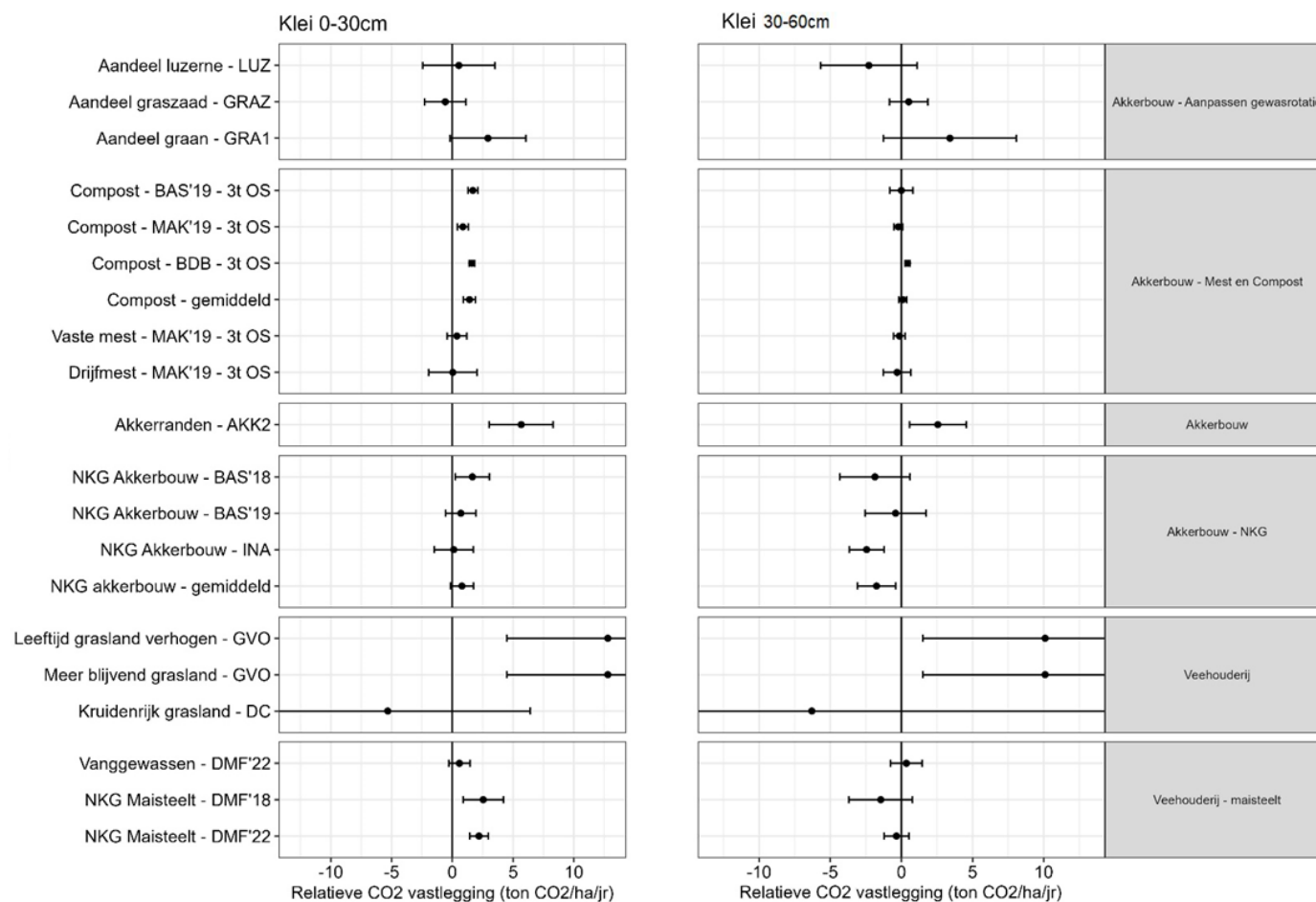
Hoofdmaatregel	Koolstof-vastlegging (ton CO <sub>2</sub> / ha/ jaar)	95% Betrouwbaar- heidsinterval	p-waarde
Aanpassen gewasrotatie (aandeel graan)	2,9	-0,2; 6,0	0,06
Aanpassen gewasrotatie (aandeel graszaad)	-0,6	-2,3; 1,1	0,48
Aanpassen gewasrotatie (aandeel luzerne)	0,5	-3,0; 3,5	0,71
Groenbemesters/ vanggewassen	0,6	-0,3; 1,5	0,23
Extra compost (per 3 ton OS)	<b>1,4</b>	<b>0,9; 1,9</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
Extra vaste mesten drijfmest (vaste mest, per 3 ton OS)	0,4	-0,5; 1,2	0,31
Extra vaste mest en drijfmest (drijfmest, per 3 ton OS)	0,1	-2,6; 2,8	0,96
Niet kerende grondbewerking (akkerbouw)	0,8	-0,2; 1,7	0,10
Niet kerende grondbewerking (mais na gras)	<b>2,2</b>	<b>1,6; 3,0</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
Akkerranden	<b>5,7</b>	<b>3,0; 8,3</b>	<b>0,004</b>
Meer blijvend grasland	<b>12,8</b>	<b>4,6; 21,1</b>	<b>0,006</b>
Leeftijd grasland verhogen	<b>12,8</b>	<b>4,6; 21,1</b>	<b>0,006</b>
Kruidenrijk grasland	-5,3	-17,1; 6,4	0,43

Tabel 4. Samenvattend overzicht van het effect van maatregelen op de gemeten koolstofvastlegging op zandgronden (0-30 cm). Het 95% betrouwbaarheidsinterval geeft zicht op de spreiding. Vetgedrukte waarden zijn significant ( $p < 0,05$ ).

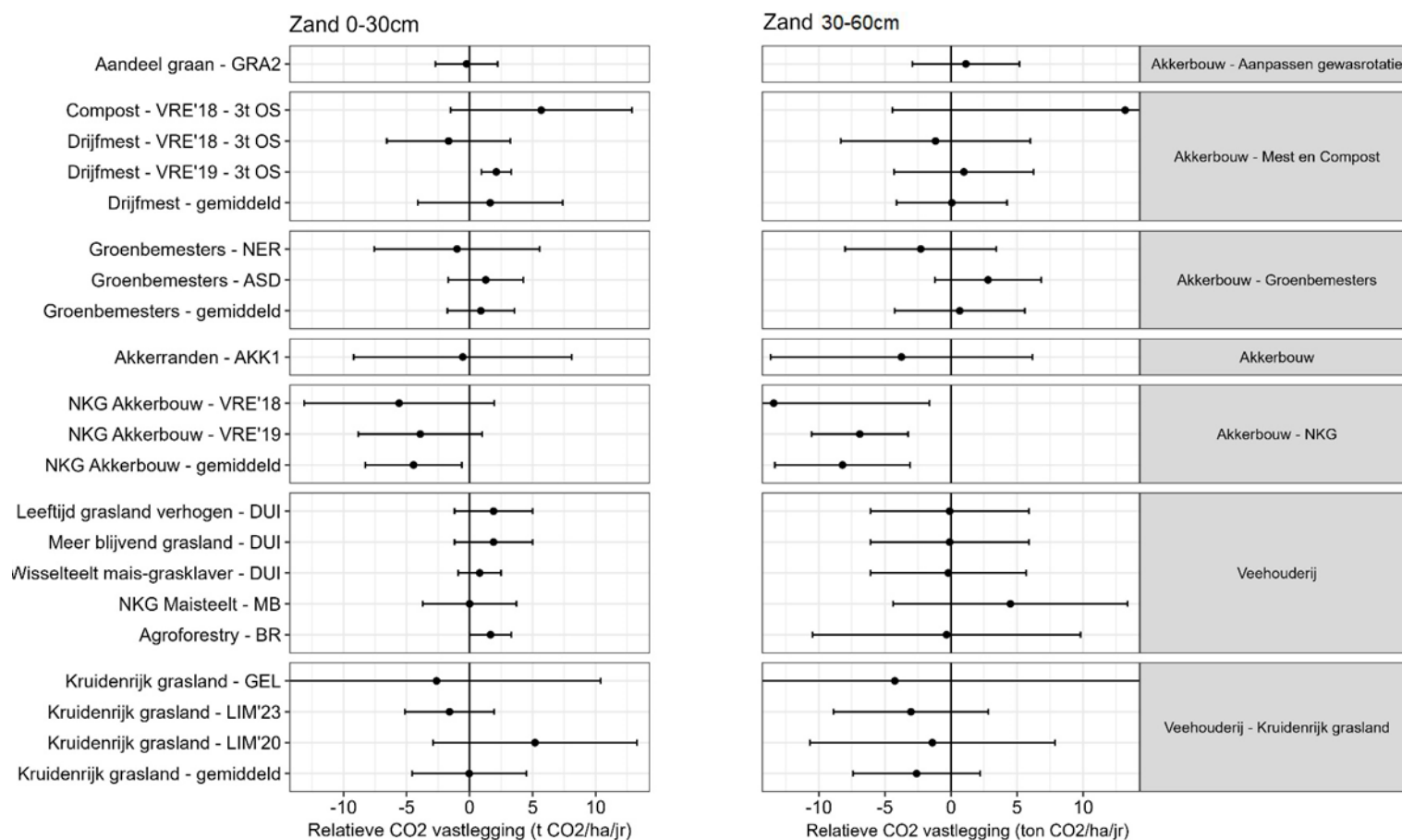
Maatregel	Koolstof-vastlegging (ton CO <sub>2</sub> / ha/ jaar)	95% Betrouwbaar- heidsinterval	p-waarde
Aanpassen gewasrotatie (aandeel graan)	-0,2	-2,7; 2,3	0,84
Groenbemesters/ vanggewassen	0,9	-1,7; 3,8	0,51
Extra compost (per 3 ton OS)	5,7	-1,5; 12,8	0,18
Extra vaste mest en drijfmest (drijfmest, per 3 ton OS)	1,6	-4,1; 7,4	0,58
Niet kerende grondbewerking (akkerbouw)	<b>-4,4</b>	<b>-8,3; -0,6</b>	<b>0,02</b>
Niet kerende grondbewerking (mais na gras)	0,0	-3,7; 3,7	1,0
Akkerranden	-0,5	-9,1; 8,1	0,23
Meer blijvend grasland	1,9	-1,3; 5,0	0,23
Leeftijd grasland verhogen	1,9	-1,3; 5,0	0,23
Wisselteelt mais-gras (klaver)	0,8	-0,9; 2,5	0,08
Kruidenrijk grasland	0,0	-4,5; 4,5	0,29
Agroforestry	1,7	0,0; 3,4	0,06

Tabel 5. Overzicht van de koolstofvastlegging per maatregel en het 95% betrouwbaarheidsinterval in de bovenlaag (0-30 cm) in de Veenkoloniën. Vetgedrukte waarden zijn significant ( $p < 0,05$ ).

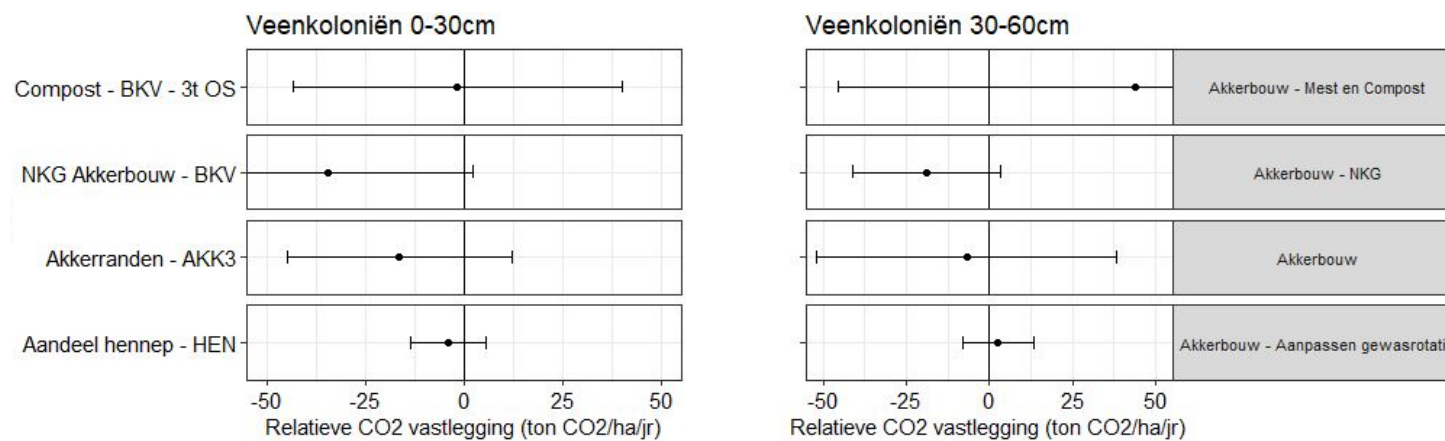
Hoofdmaatregel	Koolstof- vastlegging (ton CO <sub>2</sub> / ha/ jaar)	95% Betrouwbaar- heidsinterval	p-waarde
Aanpassen gewasrotatie (aandeel hennep)	-4,0	-13,7; 5,7	0,40
Extra compost (per 3 ton OS)	-1,6	-105; 102	0,97
Niet kerende grondbewerking (akkerbouw)	-34,4	-71,0; 2,2	0,22
Akkerranden	-16,4	-44,9; 12,1	0,23



Figuur 2. Relatieve koolstofvastlegging (ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar) per LTL op klei voor de diepte 0-30 cm en 30-60 cm. De errorbalk in de grafiek geeft het 95% betrouwbaarheidsinterval aan. Wanneer deze balk de 0-lijn niet doorkruist is er sprake van een significant effect van de maatregel ( $P < 0.05$ ). Het gaat om de locaties LUZ (Centrale klei), GRAZ (Zuidelijke klei), GRA1 (Centrale en Zuidelijke klei), BAS (Centrale klei), MAK (Centrale klei), BDB (Vlaamse leem), AKK2 (Centrale klei), INA (Vlaamse klei), GVO (Noordelijke klei), DC (Centrale klei) en DMF (Centrale klei).



Figuur 3. Relatieve koolstofvastlegging (ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar) per LTL op zand voor de diepte 0-30 cm en 30-60 cm. De errorbalk in de grafiek geeft het 95% betrouwbaarheidsinterval aan. Wanneer deze balk de 0-lijn niet doorkruist is er sprake van een significant effect van de maatregel ( $P < 0.05$ ). Het gaat om de locaties GRA2 (Zuidelijk zand), VRE (Zuidelijk zand), NER (Centraal zand), ASD (Duitse löss), AKK1 (Noordelijk zand), DUI (Zuidelijk zand), MB (Zuidelijk zand), BR (Zuidelijk zand), LIM (Zuidelijk zand).



Figuur 4. Relatieve koolstofvastlegging (ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar) per LTL in de Veenkoloniën voor de diepte 0-30 cm en 30-60 cm. De errorbalk in de grafiek geeft het 95% betrouwbaarheidsinterval aan. Wanneer deze balk de 0-lijn niet doorkruist is er sprake van een significant effect van de maatregel ( $P < 0.05$ ). Het gaat om de locaties BKV (Noordelijk zand/Veenkoloniën), AKK3 (Noordelijk zand) en HEN (Noordelijk zand).

## 3.2 Aanpassen gewasrotatie (aandeel graan, graszaad, luzerne, hennep)

In de bemeten praktijkpercelen hadden percelen met een hoger aandeel graan in het bouwplan op kleigrond een positieve trend voor de koolstofvastlegging in de bouwvoor van 2,9 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar, (P=0,06) (GRA1). Op zand is dit effect niet aangetoond (GRA2). In de diepere bodemlaag (30-60 cm) is er geen effect op kleigronden en zandgronden gevonden. In 2022 is er ook gekeken naar praktijkpercelen met een hoger aandeel van andere rustgewassen in het bouwplan: hennep in de Veenkoloniën (HEN), luzerne op Centrale klei (LUZ) en graszaad op Zuidelijke klei (GRAZ). Hierbij zijn geen positieve of negatieve effecten aangetoond in zowel de bouwvoor (0-30 cm) als de ondergrond (30-60 cm).

## 3.3 Groenbemesters/vanggewassen

### Groenbemesters op zandgrond

Het effect van groenbemesters is gemeten op zandgrond. Op basis van de twee LTL's (Centrale zand (NER) en Duitse löss (ASD)) die zijn bemonsterd is er geen aantoonbaar effect op koolstofvastlegging vast te stellen. Het gemiddelde is positief met 0,9 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar in de bouwvoor (0-30 cm), maar het betrouwbaarheidsinterval is groot en daardoor niet significant. Hetzelfde geldt voor de laag 30-60 cm, waarbij gemiddeld een kleine vastlegging gevonden wordt, maar met een groot betrouwbaarheidsinterval.

### Vanggewassen op kleigrond

Naast de veldproeven met groenbemesters op zandgrond is er op kleigrond ook een proef bemonsterd met vanggewassen na mais. In de proef (DMF) op kleigrond is geen aantoonbaar effect gevonden in zowel de 0-30 en 30-60 cm laag. Het gemiddelde in de 0-30 cm laag is wel positief met 0,6 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar, maar het betrouwbaarheidsinterval is groot.

## 3.4 Extra compost

De effecten van extra compost zijn uitgedrukt per 3 ton organische stof, wat overeenkomt met zo'n 15 ton/ha compost per jaar. Op kleigrond is er een significant positief effect aangetoond in de bouwvoor (0-30 cm), op basis van metingen op drie verschillende locaties. De gemiddelde vastlegging bedraagt 1,4 ton CO<sub>2</sub>/ha/jr. (per 3 ton organische stof). Op zandgrond is er geen aantoonbaar effect gevonden van extra compost. Het gemiddelde is echter wel positief met 5,7 ton CO<sub>2</sub>/ha/jr. (per 3 ton organische stof) in de 0-30 cm laag, maar het betrouwbaarheidsinterval is groot. Op de dalgronden in de Veenkoloniën is geen aantoonbaar effect gevonden.

Kijkend naar de laag 30-60 cm zijn er geen significante effecten aangetoond van compost op klei- en zandgrond. Op de individuele proef op kleigrond in Vlaanderen (BDB) is er echter wel een significant positief effect te zien, al lijkt de bijdrage beperkt. Op zandgrond in Vredepeel is het gemiddelde hoog, maar vanwege het grote betrouwbaarheidsinterval niet significant. In de Veenkoloniën is hier wederom een grote spreiding te zien en geen aantoonbaar effect.

### 3.5 Extra vaste mest en drijfmest

De effecten van extra vaste mest of extra drijfmest zijn net als bij compost uitgedrukt per 3 ton organische stof wat ongeveer overeenkomt met 20 ton/ha vaste mest en 40 ton/ha drijfmest per jaar. Vaste mest is alleen op Centrale klei bemeten (MAK'19), zonder aantoonbaar effect. Het gemiddelde in de 0-30 cm is licht positief met 0,4 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar (per 3 ton organische stof), maar niet significant.

Voor drijfmest is er op kleigrond geen aantoonbaar effect gemeten (MAK'19). Op zandgrond is gemeten in 2018 (VRE'18) en 2019 (VRE'19). De samengevoegde resultaten lieten geen aantoonbaar effect zien. Opvallend genoeg lieten de resultaten van 2019 individueel wel een significant effect zien, terwijl deze in dezelfde proef zijn gemeten als in 2018.

In de diepere bodemlaag (30-60 cm) zijn er geen aantoonbare effecten gevonden voor vaste mest en drijfmest op zowel zand- als kleigrond.

### 3.6 Niet kerende grondbewerking in de akkerbouw

Op kleigrond is voor niet kerende grondbewerking een positieve trend gevonden ( $P=0,10$ ) in de bovengrond (0-30 cm), met een gemiddelde vastlegging van 0,9 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar. In 2018 (BAS'18) en 2019 (BAS'19) is in dezelfde proef gemeten en opvallend genoeg gaven de resultaten in 2018 een significant positief effect, maar in 2019 niet. In de Vlaamse leem (INA) zijn geen verschillen in koolstofvastlegging gevonden voor de bovengrond. Op zandgrond is sprake van een (niet-significante) negatieve trend in twee opvolgende jaren (VRE'18 en VRE'19). Als beide bemonsteringsjaren op zandgrond in één analyse worden meegenomen, dan is sprake van een significant negatief effect van -4,4 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar. Op de dalgronden in de Veenkoloniën werd geen aantoonbaar effect gevonden, al was de gemiddelde waarde opvallend negatief met -34,4 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar.

In de diepere bodemlaag (30-60 cm) wordt op zowel klei- als zandgrond gemiddeld een significant negatief effect gevonden van niet kerende grondbewerking op koolstofvastlegging. Al waren hierbij enkele resultaten zo negatief dat het de vraag is of dit enkel door de maatregel veroorzaakt is. Mogelijk komt dit door de heterogeniteit van de zandgrond. In de Veenkoloniën is het gemiddelde ook negatief, maar niet significant.

### 3.7 Niet kerende grondbewerking in mais na gras

Op kleigrond (DMF) had niet kerende grondbewerking in de maisteelt op percelen met een graslandgeschiedenis een significant positief effect op het vasthouden van koolstof in de bouwvoor (0-30 cm). Dit effect was zowel in 2018 als in 2022 zichtbaar, met een gemiddelde van 2,2 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar. Op de meetlocatie op zandgrond (MB) was er meer variatie en geen significant verschil in de bouwvoor. In de diepere bodemlaag (30-60 cm) is geen significant effect gevonden op beide grondsoorten. Door de aard van deze veldproeven gaat het hier met name om het behouden van organische stof die in de bodem is opgebouwd onder meerjarig grasland, tijdens de daaropvolgende maisteelten.

### 3.8 Akkerranden

In de bouwvoor (0-30 cm) op kleigrond is voor meerjarige akkerranden een significant positief effect aangetoond, met een gemiddelde vastlegging van 5,7 ton CO<sub>2</sub>/jaar per hectare *akkerrand*



(AKK2). Op zandgrond (AKK1) en in de Veenkoloniën (AKK3) is geen aantoonbaar effect van akkerranden op de koolstof in de bodem gevonden. Op kleigrond was er ook in de diepere bodemlaag (30-60 cm) een significant positief effect op koolstofvastlegging. In de diepere bodemlaag op zandgrond en in de Veenkoloniën is geen aantoonbaar effect gevonden.

In alle gevallen was er sprake van metingen in een meerjarige akkerrand. De akkerranden waren daardoor grasrijk en heel anders van aard dan een éénjarige bloemachtige akkerrand. Het beeld van de akkerranden in beide regio's is dat van een grasachtige strook langs de percelen met akkerbouwgewassen. Daarnaast is belangrijk hierbij te vermelden dat de waardes zijn uitgedrukt in hectare akkerrand en niet totale teeltareaal. De hectares akkerrand zijn normaal gesproken zeer beperkt op bedrijfsniveau.

### 3.9 Meer blijvend grasland en Leeftijd grasland verhogen

Voor de maatregelen meer blijvend grasland en leeftijd grasland verhogen is op kleigrond een positief significant effect gevonden in de laag 0-30 cm, met een gemiddelde vastlegging van 12,8 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar. Op zandgrond resulteren de metingen in de laag 0-30 cm niet in een aantoonbaar effect. Het gemiddelde is wel positief met 1,9 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar, maar er is een groot betrouwbaarheidsinterval. Ook in de laag 30-60 cm tonen de metingen op kleigrond een positief significant effect aan, met een gemiddelde vastlegging van 10,1 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar. Voor zandgrond is geen aantoonbaar effect gevonden in de laag 30-60 cm.

### 3.10 Wisselteelt mais-gras(klaver)

De maatregel wisselteelt mais-gras(klaver) is enkel op zandgrond bemeten. In de 0-30 cm bodemlaag is een positieve trend gevonden ( $P=0,08$ ), met een gemiddelde bijdrage van 0,8 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar. In de ondergrond is geen aantoonbaar effect gevonden.

### 3.11 Kruidenrijk grasland

Op zowel klei- als zandgrond is geen aantoonbaar effect gevonden van kruidenrijk grasland op koolstofvastlegging in vergelijking met grasland zonder kruiden. Dit geldt voor zowel de 0-30 cm en de 30-60 cm bodemlagen. Dit is bemeten in veldproeven op zandgrond (LIM) en kleigrond (DC), en in praktijkpercelen op Centraal zand (GEL).

### 3.12 Agroforestry (op grasland)

Deze maatregel is geëvalueerd op vier praktijkpercelen op Zuidelijk zand (BR), waarbij is gemeten op meerdere afstanden in een strook naast een bomenrij en een controlestrook (zie Bijlage 1). Er is een positieve trend ( $P=0,06$ ) voor de koolstofvastlegging in de 0-30 cm laag in de strook van 20 m rond de bomenrij, met een gemiddelde vastlegging van 1,7 ton CO<sub>2</sub>/ha/jr. Om dit effect op perceelniveau (per ha) te realiseren zou er wel om de 40 m een bomenrij op het perceel moeten staan. In de 30-60 cm laag is geen effect gevonden.

## 4 Discussie per maatregel

### 4.1 Aanpassen gewasrotatie

In de metingen aan de maatregel aanpassen van de gewasrotatie door meer rustgewassen moeten we onderscheid maken tussen graan, en de overige bemeten rustgewassen (graszaad, hennep en luzerne). Alleen op klei is er een positieve trend van koolstofvastlegging bij gewasrotaties met meer graan ( $P=0,06$ ) van 2,9 ton CO<sub>2</sub>/ha/jr. Een belangrijke factor die echter meespeelt is het kleigehalte van de bodems; op zwaardere gronden wordt vaker veel graan geteeld omdat te veel (rooi)gewassen de bodems zwaar belasten. Mogelijk zorgen de kleideeltjes op deze zwaardere gronden voor meer vastlegging van de gewasresten van het graan. Er is geen effect gevonden voor meer graan op zandgronden en voor de andere rustgewassen die zijn onderzocht (graszaad in Zeeland, luzerne in Flevoland en hennep in de Veenkoloniën).

In de review van internationale literatuur van Martinez Garcia et al. (2023) zijn studies bekeken naar effecten van gewasrotaties, met een hoger aandeel granen. Hieruit kwam naar voren dat sommige studies inderdaad een positief effect lieten zien van meer granen in de rotatie, met een range van 0,22 – 1,6 ton CO<sub>2</sub>/ha/jr. vastlegging. Dit komt wat lager uit dan de trend die in deze studie gevonden is voor kleigrond voor meer graan in de rotatie. Voor zover bekend zijn er geen studies naar het effect van graszaad, luzerne of hennep. Het is wel bekend welk rustgewas de meeste organische stof via gewasresten achterlaat. Dat is achtereenvolgens wintertarwe met stro achterlaten (9850 kg organische stof per ha), graszaad met hooi achterlaten (8450 kg organische stof per ha) en luzerne (5000 kg organische stof per ha) (Handboek Bodem en Bemesting). Voor hennep is het onbekend. Mogelijk zorgen luzerne, graszaad en hennep voor te weinig gewasresten om het koolstofgehalte van de bodem te verhogen. Verder kunnen andere factoren in het management of perceelhistorie een nog bepalendere factor zijn dan de gewasrotatie, zoals compostgebruik, of het type landgebruik voordat het perceel akker werd. Natuurlijk kunnen gewassen zoals hennep wel positief uitwerken voor koolstofvastlegging door middel van het gebruiken van de bovengrondse delen voor bijvoorbeeld bouwmaterialen. Dit is in deze studie niet meegenomen, het gaat hier om het effect in de bodem.

In de modelberekeningen wordt er een grote potentie voor koolstofvastlegging voorspeld met behulp van meer graan in de gewasrotatie (Slier et al., 2022). De metingen bevestigen dit beeld voor de kleigronden.

In Nederland liggen geen veldproeven waarbij verschillende gewasrotaties worden vergeleken. Daarom is er voor deze maatregel uitgeweken naar een vergelijking van praktijkpercelen met contrasterende gewashistorie welke in eenzelfde gebied liggen en een vergelijkbare grondsoort hebben. Voor een vergelijking van verschillende bouwplannen zijn echter veel percelen nodig. Vanaf de start van het project zijn praktijkpercelen gezocht en jaarlijks aangevuld met meer metingen. Er lag een focus op praktijkpercelen met een hoog aandeel graan in de rotatie, aangezien granen veel gewasresten achterlaten. Echter was het op zandgrond meestal erg lastig om voldoende praktijkpercelen te vinden met een hoog aandeel graan. Daarbij komt dat op dergelijke percelen vaak niet zonder reden meer graan werd verbouwd (bijvoorbeeld minder vruchtbare grond).

**Toepasbaarheid maatregel**

Graan en andere rustgewassen kunnen in Nederland goed geteeld worden, en zijn vanuit een goede vruchtwisseling vaak ook gewenst voor het behoud van bodemkwaliteit. Bestaande regelgeving zal er bovendien toe leiden dat er waarschijnlijk meer rustgewassen geteeld gaan worden in de komende jaren. Het grootste knelpunt is echter de zeer matige saldo's. Het aanpassen van de gewasrotatie met meer graan kan negatieve gevolgen hebben voor het bouwplansaldo, en de orde van grootte hiervan verschilt per regio in Nederland (Hoogmoed et al., 2021). Echter zijn de graanprijzen de afgelopen tijd veranderlijk en zijn de negatieve gevolgen op bouwplansaldo's dus ook erg variabel.

## 4.2 Groenbemesters/vanggewassen

Uit de LTL's kwam geen significant effect van groenbemesters en vanggewassen op koolstofvastlegging naar voren. Wel is de gemiddelde vastlegging licht positief. In de review van internationale literatuur van Martinez Garcia et al. (2023) wordt een vastlegging door groenbemesters genoemd van zo'n 1,0-1,8 ton CO<sub>2</sub>/ha/jr., welke daarmee een stuk hoger uitvalt dan gemeten in de LTL's in dit onderzoek. Uit modelberekeningen op nationaal niveau blijkt ook dat de potentie voor koolstofvastlegging in Nederland met behulp van extra inzet van groenbemesters groot is (Lesschen et al., 2021).

Mogelijke verklaringen voor de verschillen kunnen worden gezocht in de relatief hoge bestaande koolstofvoorraad in de Nederlandse bodems. Meer voor de hand ligt de relatief korte groeiperiodes van groenbemesters in Nederland, vanwege de veelal laat geogoste (hoofd)gewassen. Het lastige rond het bepalen van het effect van groenbemesters en vanggewassen is namelijk dat er enorm veel verschil kan zitten in de ontwikkeling van groenbemesters en daarmee de organische stof aanvoer per jaar. Deze is met name afhankelijk van de gekozen soorten groenbemesters en het zaaimoment (zie o.a. Selin Norén et al., 2021 & Handboek Bodem & Bemesting). Voor koolstofvastlegging zijn vooral groenbemesters die in de zomer al gezaaid worden kansrijk, omdat dit voor duidelijk meer organische stof aanvoer zorgt dan groenbemesters die pas in het najaar gezaaid worden. Daarbij komt dat de groenbemesterproeven waar in deze studie in is gemeten op zandgrond gelegen zijn en een beperkte looptijd hadden. Zandgrond heeft in alle metingen grotere variatie dan kleigrond, waarschijnlijk door ruimtelijke verschillen in de koolstofvoorraad. Wat ook meespeelt bij de veldproeven is de onkruiddruk bij de controle behandeling zonder groenbemesters, waardoor het verschil met de groenbemester qua biomassa minder groot kan zijn dan wanneer er sprake zou zijn van een zwarte braak.

Om te kijken in hoeverre de modelresultaten overeenkomen met de metingen in een veldproef over groenbemesters zijn meetresultaten van de veldproef over groenbemesters in Asendorf doorgerekend met het model RothC, zie daarvoor Bijlage 3.

**Toepasbaarheid maatregel**

Het voordeel van groenbemesters is dat deze relatief gemakkelijk toe te passen zijn in de Nederlandse landbouw en ondernemers uit de praktijk er inmiddels bekend mee zijn. Ook gaan groenbemesters vaak gepaard met andere bijkomende voordelen, zoals verbetering van de bodemstructuur en biodiversiteit, en de vermindering van de uitspoeling van nutriënten. Ook de

verplichting van groenbemesters na bepaalde gewassen hebben hieraan bijgedragen. Wel moet de inpassing van groenbemesters zorgvuldig gebeuren, om te voorkomen dat dit leidt tot problemen bij de volgende teelt, zoals bijvoorbeeld met aaltjes. De mogelijkheid van overwintering van groenbemesters en de wijze van inwerken in het voorjaar is een thema dat ondernemers bezighoudt. De vraag blijft hoeveel extra inzet van groenbemesters ten behoeve van koolstof vastlegging nog mogelijk is. Met de huidige bouwplannen zal het dan relatief vaak om laat ingezaaide groenbemesters gaan met navenant lagere biomassa input. Als echter ook het bouwplan wordt aangepast, kan bijvoorbeeld een extra graangewas zorgen dat er ook ruimte ontstaat voor de inzet van een extra groenbemester.

### 4.3 Extra compost

Uit de resultaten blijkt dat de toevoeging van compost bijdraagt aan de koolstofvastlegging in de bouwvoor (0-30 cm). De gevonden vastlegging ligt in lijn met resultaten uit de internationale literatuuranalyse die binnen Slim Landgebruik is uitgevoerd (Martinez Garcia et al., 2023). In overeenstemming met deze resultaten laten ook recente meta-analyses zien dat directe toevoegingen van organisch materiaal relatief snel de hoeveelheid koolstof in de bodem kunnen verhogen (Bai et al., 2019; Young et al., 2021), vooral als het moeilijker afbreekbaar materiaal is zoals compost en vaste mest. Daarbij is het van belang dat dit met regelmaat gebeurt.

#### **Toepasbaarheid maatregel**

Het is echter niet evident om overal in Nederland de compostgiften te verhogen, omdat de totale voorraad beschikbare compost beperkt is (o.a. Viaene et al., 2016). Deze kan door een verhoogde inzet van reststromen en verbeterde inzameling mogelijk wel wat hoger worden, maar er is vanuit vele hoeken veel vraag naar kwalitatieve compost. Zolang de beschikbaarheid van compost dus niet hoger wordt en de mestwetgeving de inzet beperkt, zal het eerder een verschuiving zijn van waar het gebruikt wordt dan een totale toename. Een andere factor om rekening mee te houden is de soms hoge mate van vervuiling in compoststromen, met name in GFT-compost, waardoor veel landbouwers niet staan te springen om deze stromen te gebruiken. Daarnaast moet er rekening gehouden worden met de bemestingsruimte en fosfaatnorm, welke de toepassing van compost ook kunnen beperken. Het dient dus goed ingepast te worden binnen de totale bemestingsstrategie en -wetgeving.

### 4.4 Extra vaste mest en drijfmest

Uit de resultaten van de LTL's wordt geen duidelijke koolstofvastlegging gevonden door het gebruik van drijfmest. Vaste mest is te weinig gemeten om daar conclusies over te trekken. In de internationale literatuuranalyse (Martinez Garcia et al., 2023) wordt voor vaste mest een significante vastlegging gerapporteerd (vergeleken met kunstmest), die iets lager uitvalt dan voor extra compost. Dit lijkt dus wel degelijk een maatregel met potentie voor koolstofvastlegging. Een meta-studie van Zavattaro et al. (2017) laat daarnaast in lange termijnproeven (>10-20 jaar) met vaste rundermest twee keer zoveel koolstofvastlegging (+33%) zien vergeleken met drijfmest (+17%) in vergelijking met kunstmest.

#### **Toepasbaarheid maatregel**

Het is de vraag hoe makkelijk deze maatregel op te schalen is en of extra dierlijke mest haalbaar is. Op korte termijn lijkt de meest beperkende factor hierin de bemestingsruimte. Veel landbouwers in Nederland zetten al maximaal dierlijke mest in (veelal drijfmest). De keuze voor

meer vaste mest zal dan ook vaak ten koste gaan van een andere organische bemesting. Op lange termijn zal ook de beschikbaarheid van dierlijke mest een rol spelen. Waar de Nederlandse veehouderij momenteel nog een mestoverschot heeft, is de verwachting dat dit in de toekomst zal afnemen, vanwege een toename van grondgebonden veehouderij, mestverwerking en mogelijke krimp van de veestapel. Om specifiek de beschikbaarheid van vaste mest te verhogen zal er ook een verandering in stalsystemen plaats moeten vinden, die de vaste en dunne mest apart kunnen inzamelen. Voor het effectief inzetten van deze maatregel is het dus van belang om deze in de bredere context van het mestvraagstuk en de bemestingsstrategie in de praktijk te bekijken.

#### 4.5 Niet kerende grondbewerking (akkerbouw)

Uit de resultaten van de metingen komt geen significant positief effect van NKG in 2 veldproeven op klei naar voren, maar wel een negatief effect van NKG op zandgrond voor de bouwvoor (0-30). Wel is sprake van positieve trend als gevolg van metingen uit het jaar 2018. In de diepere bodemlaag (30-60 cm) zijn op zowel klei- als zandgrond significant negatieve effecten gevonden. Deze resultaten komen overeen met internationale literatuur zoals gerapporteerd in reviews van Lesschen et al. (2021) en Martinez Garcia et al. (2023).

In Centrale klei zijn in 2016 (Hoek et al., 2019) significante positieve effecten op organische stof (+10%) en koolstof voorraad voor de toplaag gemeld (0-15cm). Een positief effect van NKG op de koolstofvastlegging in de toplaag wordt in de ondergrond tenietgedaan door extra afbraak zo blijkt uit de resultaten. Dit is een effect wat ook uit de literatuur bekend is (Martinez Garcia et al., 2023). Dat in deze analyse in 2019 in de bouwvoor van dezelfde proef geen significant effect gevonden is kan een gevolg zijn van andere bemonsterde behandelingen en de teelt voorafgaand aan de bemonstering waardoor verschillen kleiner kunnen worden, zoals een jaar met gras-klaver met weinig verstoring en meer wortelmassa. Rooigewassen, zoals aardappelen, met weinig wortels en veel bodemverstoring werken de andere kant op. In een andere bemonstering van het perceel met biologisch beheer is met behulp van sub-herhalingen het onderscheidend vermogen groter gebleken (Krauss et al., 2022). Voor gereduceerde grondbewerking wordt 10 jaar gezien als een geschikte minimale proefduur om verschillen te kunnen aantonen (Haddaway et al., 2017). De hier bemonsterde LTL's voldeden wel aan die voorwaarde.

Voor verdere conclusies over gereduceerde grondbewerking zijn vooral waarnemingen over meerdere jaren in de rotatie en liefst met zoveel mogelijk replicaties per LTL. In de zomer van 2023 is de BASIS proef opnieuw bemonsterd om nogmaals de zekerheid van het effect van de maatregel in de akkerbouw te vergroten. Verder ontbreekt nog een kwantificering van de feitelijke graad van bodemverstoring in de verschillende veldproeven waarin verschillende machines worden gebruikt voor gereduceerde grondbewerking.

##### **Toepasbaarheid maatregel**

Uit de langjarige systeemprouven op klei- en zandgrond in Lelystad (BASIS) en Vredepeel (Bodemkwaliteit op Zand), die ook in deze studie bemonsterd zijn, blijkt dat NKG op beide grondsoorten goed toepasbaar is in de praktijk. Gewasopbrengsten zijn voor de meeste gewassen vergelijkbaar met een systeem met kerende grondbewerking. Alleen voor fijnzadige

gewassen, zoals peen en ui, wordt de teelt uitdagender door een moeilijker kieming en hogere onkruiddruk. Een omschakeling naar niet kerende grondbewerking op bedrijfsniveau vereist echter wel een andere manier van werken, die gepaard gaat met nieuwe kennis en kunde, maar ook met nieuwe mechanisatie. Het is dus niet van vandaag op morgen zo in te passen.

#### 4.6 Niet kerende grondbewerking (mais na gras)

Na de omzetting van langjarig gras naar continue maisteelt op klei had NKG een significant positief effect. De met gras opgebouwde organische stof werd beter behouden in de behandelingen met NKG dan in behandelingen met ploegen.

Niet kerende grondbewerking in de maisteelt in de veehouderij is anders dan in de akkerbouw. Enerzijds door de voorgeschiedenis, en anderzijds doordat er geen rooigewassen worden geteeld en de bodemverstoring minimaal is in deze proeven. Het ging bij deze LTL's om percelen met een graslandverleden en relatief veel organische stof (het betrof een grasland van meer dan 5 jaar oud op beide type bodems, alvorens de periode met continu maisteelt met NKG startte). Dit betekent dat in deze veldproeven onderzocht is in hoeverre de NKG de afbraak van bestaande bodem organische stof kan beperken. Deze maatregel kan daardoor relevant zijn daar waar percelen van langjarig grasland om de een of andere reden moeten worden omgezet naar mais (denk bijvoorbeeld in het kader van wisselteelten, die echter vooral op zand relevant zijn).

#### 4.7 Akkerranden

Op kleigrond is een positief effect (5,7 ton CO<sub>2</sub> per ha akkerrand) van meerjarige akkerranden aangetoond, terwijl dit op zandgrond niet het geval is. In het rapport van Martinez Garcia et al. (2023) zijn een zeer gering aantal studies gevonden die het effect van meerjarige akkerranden bepalen, wat resulteerde in een range van 0 – 1,8 ton CO<sub>2</sub>/ha/jr. Dit komt een stuk lager uit dan in de resultaten op kleigrond uit deze studie, maar past wel in de lijn van de resultaten op zandgrond.

##### Toepasbaarheid maatregel

De belangrijkste nuance bij de vastlegging in akkerranden blijft dat de vastlegging hier is uitgedrukt per hectare akkerrand. De hier benoemde 5,7 ton CO<sub>2</sub> per ha akkerrand is omgerekend naar een akkerrand om een akkerbouwperceel (1 ha, met aan 1 zijde 3 m akkerrand) nog maar zo'n 0,17 ton CO<sub>2</sub>/ha/jr. Het is wel aannemelijk dat de hoeveelheid akkerranden zal toenemen in de komende jaren, vanwege de verplichtingen van bufferstroken rondom waterlopen en de subsidies uit de eco-regeling.

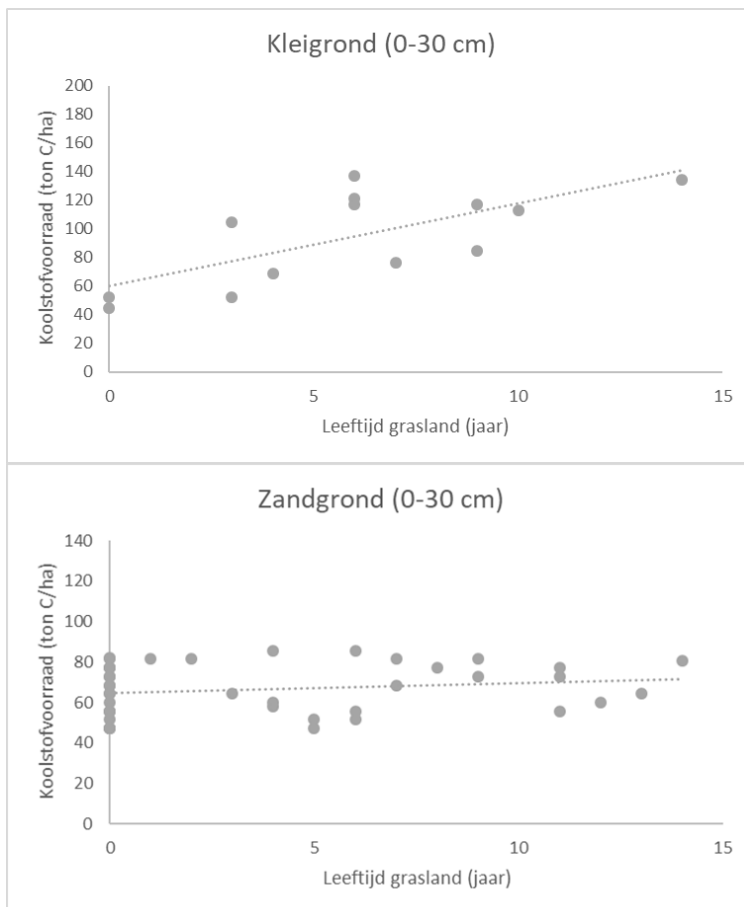
#### 4.8 Meer blijvend grasland en leeftijd grasland verhogen

Binnen het programma Slim Landgebruik worden twee maatregelen voor koolstofvastlegging door graslanden onderscheiden (Slier et al., 2022): meer blijvend grasland, en leeftijd grasland verhogen. Om de effecten van deze twee maatregelen te meten in de Nederlandse praktijkomstandigheden, zijn deze als volgt ingevuld:

- **Meer blijvend grasland:** het omzetten van akker- naar blijvend grasland gedurende de eerste 5 jaar na omzetten van akker- naar grasland, dus er wordt gemeten hoeveel grasland in de eerste 5 jaar jaarlijks aan koolstof vastleggen.

- **Leeftijd grasland verhogen:** het voorkomen dat grasland dat 5 jaar of ouder is wordt gescheurd (omgezet in mais/akker), zodat de leeftijd van grasland verder toeneemt. Hier gaat het om graslanden die al ouder zijn dan 5 jaar, en om de jaarlijkse koolstofvastlegging van deze graslanden.

Binnen de twee bodemtypen (klei en zandgrond) waarin de metingen van 2018 t/m 2022 zijn uitgevoerd, varieerde het kleigehalte van de grond toch nog in behoorlijke mate. Om die reden is in de analyse van het effect van beide bovenstaande maatregelen het kleigehalte van de grond als co variabele meegenomen. Onderstaande grafieken tonen voor kleigrond en voor zandgrond de relatie tussen leeftijd grasland en de koolstofvoorraad in de bodemlaag van 0-30 cm.



Figuur 5. De correlatie tussen de koolstofvoorraad en de leeftijd van het grasland, in de laag 0-30 cm op kleigrond (boven) en op zandgrond (onder). De punten zijn metingen, de stippellijn geeft de trend weer die statistisch getoetst is.

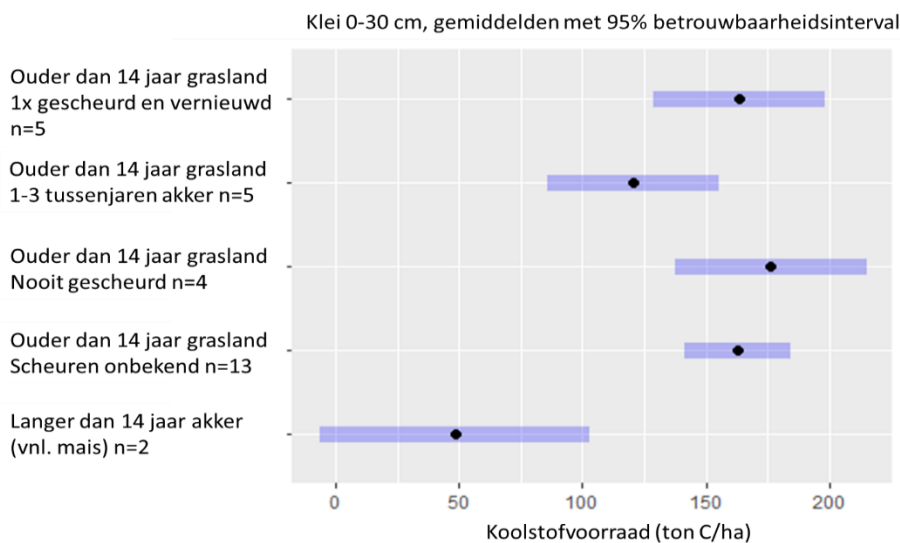
Er zijn voor beide bodemsoorten rechte lijnen te trekken, oftewel er is niet genoeg aanleiding om op grond van deze metingen een lijn met verschillende helling voor jongere en voor oudere graslanden te gebruiken. Dit betekent dat er binnen een bodemsoort (klei, zand) geen onderscheid kan worden gemaakt voor beide bovenstaande maatregelen. Voor beide bodemsoorten is er een toename in de koolstofvoorraad met toenemende leeftijd van het grasland. De lijn loopt echter veel steiler omhoog voor kleigrond als voor zandgrond. Bij analyse blijkt dat de lijn voor kleigrond significant oploopt, met (na correctie voor het kleigehalte van de grond) een helling van +3,5 ton C/ha/jaar ( $p < 0.01$ ) wat omgerekend een toename betekent van 12,8 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar. Voor zandgrond loopt de lijn niet significant op na correctie voor het kleigehalte van de grond (helling: +0,52 ton C ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>, wat omgerekend uitkomt op 1,9 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar  $p = 0,23$ ).

In de groep van percelen die gemeten zijn voor de bovenstaande twee maatregelen, op klei en zandgrond, bevinden zich nog andere percelen waarvan de exacte leeftijd van het grasland niet is vast te stellen (bijvoorbeeld omdat ze te oud waren) of percelen met een wat afwijkende historie. Deze zijn op kleigrond:

- Percelen met grasland ouder dan 14 jaar, waarvan de gebruiker heeft aangegeven dat ze tussentijds **gescheurd** en vernieuwd zijn (gras na gras)
- Percelen met grasland ouder dan 14 jaar, met in de afgelopen 14 jaar 1 tot 3 jaar akker (meestal mais) tussendoor. Dus **gescheurd en tussenjaren**.
- Percelen met grasland ouder dan 14 jaar, waarvan de gebruiker heeft aangegeven dat ze **niet gescheurd** zijn.
- Percelen met grasland ouder dan 14 jaar, waarvan **scheurhistorie onbekend** is. Ook de precieze leeftijd is niet bekend.
- Percelen met afgelopen 14 jaar een **akker** (ook in grafieken) als vergelijking in hetzelfde gebied.

Figuur 6 toont de gemiddelde koolstofvoorraad en het 95% betrouwbaarheidsinterval daaromheen voor deze groepen op kleigrond. Verschillen zijn significant als de betrouwbaarheidsintervallen elkaar niet raken. Alle groepen oude graslanden zonder tussenjaren hadden een hogere koolstofvoorraad dan de akkers. De graslandpercelen met tussenjaren (1 tot 3 jaar akker) hadden nog wel een hogere koolstofvoorraad dan de akkers, maar niet significant. Ook was deze niet significant lager dan de andere oude graslanden: deze zit ertussen in.



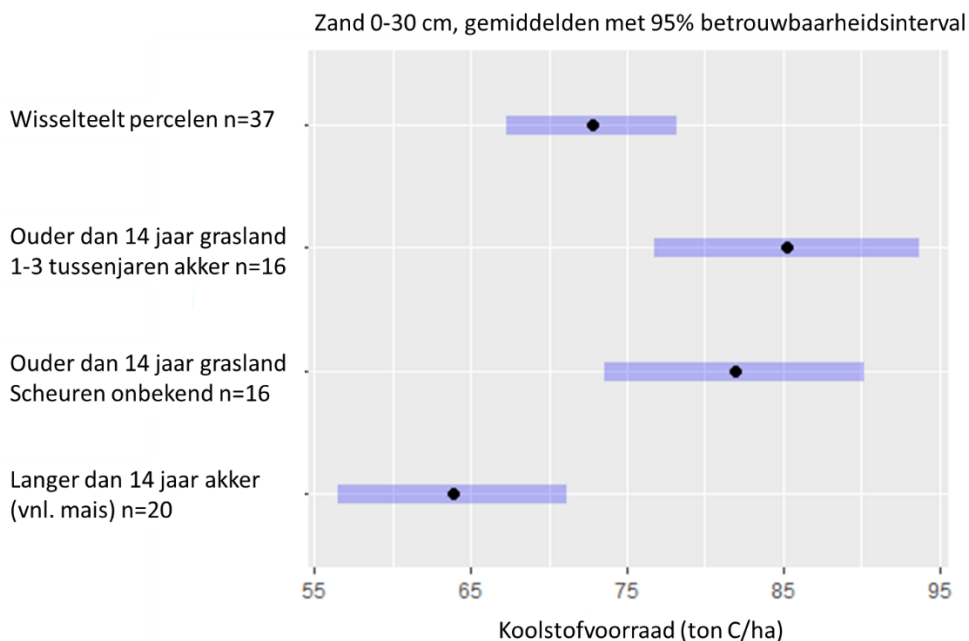


Figuur 6. Gemiddelde koolstofvoorraad en het 95% betrouwbaarheidsinterval van de metingen voor de verschillende groepen van percelen gemeten op kleigrond, in de laag 0-30 cm. Aantal percelen wordt per categorie aangegeven als n.

#### Op zandgrond:

- Percelen met **wisselteelt** waarop afwisselend een aantal jaar grasland en een aantal jaar akker is geweest gedurende de afgelopen 14 jaar.
- Percelen met grasland ouder dan 14 jaar, met in de afgelopen 14 jaar 1 tot 3 jaar akker (meestal mais) tussendoor. Maar maximaal 3 jaar dus minder akker dan een wisselteelt-perceel: dus **gescheurd en tussenjaren**.
- Percelen met grasland ouder dan 14 jaar, waarvan **scheuren onbekend** is. Ook de precieze leeftijd is niet bekend.
- Percelen met afgelopen 14 jaar een **akker** (ook in grafieken) als vergelijking in hetzelfde gebied.

Figuur 7 toont de gemiddelde koolstofvoorraad en het 95% betrouwbaarheidsinterval daaromheen voor deze groepen op zandgrond. Verschillen zijn significant als de betrouwbaarheidsintervallen elkaar niet raken. Beide groepen oude graslanden (met én zonder tussenjaren) hadden een hogere koolstofvoorraad dan de akkers. Deze verschillen waren significant. De wisselteelt percelen liggen wat betreft hun koolstofvoorraad in het midden: ze hadden nog wel een hogere koolstofvoorraad dan de akkers, maar niet significant. Ook was deze niet significant lager dan die van de oude graslanden: deze zit ertussen in. Opvallend in onderstaande figuur is dat er dus wel een verschil tussen oud grasland op zand en akkers op zand is, terwijl dit niet als significant gevonden wordt in de bovenstaande grafieken met correlaties. Het verschil in de onderstaande figuur is 15 tot 20 ton C/ha. Met de niet significante toename van  $0,52 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$  zou het dus 30 tot 40 jaar duren om een dergelijk verschil op te bouwen.



Figuur 7. Gemiddelde koolstofvoorraad en het 95% betrouwbaarheidsinterval van de metingen voor de verschillende groepen van percelen gemeten op zandgrond, in de laag 0-30 cm. Aantal percelen wordt per categorie aangegeven als  $n$ .

Voor deze maatregelen is er op kleigrond een zeer groot significant effect gemeten. Dit is van vergelijkbare grootte als beschreven in Iepema et al., 2020 (zij beschrijven 11 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar in de bovenste 10 cm van de bodem). Internationale literatuur beschrijft echter kleinere effecten. De wereldwijde meta-analyse van Conant et al. (2001 en 2017) vinden 3,2 (2001) en 3,7 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar (2017), maar maken daarbij geen onderscheid tussen klei en zandgrond, en zien een significant effect van hogere toename bij beter management (zoals inzaaien van gras). Daarom lijkt een hoger getal voor Nederlandse omstandigheden op kleigrond enigszins verklaarbaar. Toch moet men zich realiseren dat het hier gaat om een praktijkvergelijking, en met grote waarschijnlijkheid zijn percelen die op kleigrond vaak als akker bebouwd worden van oudsher anders (bijvoorbeeld lichter bodemtype). Daarbij komt dat als een perceel lang als akker bebouwd wordt, er sprake kan zijn van een afname in koolstofvoorraad. Bij graslandpercelen is juist sprake van een toename aan organische stof in de bodem met de tijd. Het verschil tussen deze twee (afname plus toename) is het verschil in onze meting. Er kan geconcludeerd worden dat er een duidelijk effect is, maar dat dit niet geheel veroorzaakt hoeft te zijn door alleen het grasland.

Op zandgrond is geen significant effect aangetoond tijdens de eerste 14 jaar. Wel is er een significant verschil tussen oude graslanden en akkers ( $p=0.006$ ). Afgerekend over een aangenomen looptijd van 30 jaar, zou dit neerkomen op een toename van 2,3 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar. Maar de variatie op zandgrond is dus te groot om dit tijdens de eerste 14 jaar te kunnen kwantificeren, of mogelijk is het verschil over een nog langere periode opgebouwd.

## 4.9 Wisselteelt mais-gras (klaver)

De wisselteelt mais-gras (klaver), ook wel de 60-20-20 maatregel genoemd is een ingewikkeldere maatregel. Hier worden percelen die wisselteelt hadden gedurende de afgelopen 14 jaar vergeleken met percelen die akker waren (meestal mais) en percelen die jong (tijdelijk)

grasland waren. Dit omdat het onwaarschijnlijk is dat percelen met langjarig grasland worden omgezet in wisselteelt. Bij de maatregel gaat het dan dus om continue akkers en tijdelijk graslandpercelen, die in een regelmatig stramien komen van wisselteelt. Het effect ervan toont een positieve trend ( $p=0.08$ ) van koolstofvastlegging van 0,8 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar. De wordt als een kansrijke maatregel gezien voor intensieve melkveehouderijen op zandgrond die mais in het bouwplan hebben maar is weinig beschreven in de literatuur. Toch is er wel een publicatie waarin ook een effect gevonden wordt van wisselteelten in vergelijking met akkerpercelen op Belgische leem (van Eekeren *et al.*, 2008). Hier is de laag 0-10 cm bemonsterd, en er wordt in deze laag na 36 jaar bij wisselteeltpercelen omgerekend zo'n 9 ton C/ha meer aan koolstof gevonden dan de akkerpercelen. Dit is een verschil in dezelfde orde van grootte als in deze studie gemeten is (Figuur 7).

#### 4.10 Kruidenrijk grasland

In geen van de twee bemeten veldproeven is een effect aangetoond van productief kruidenrijk grasland ten opzichte van gewoon grasland, niet op zand en niet op klei. Op zich is het niet heel onverwacht dat in de bovengrond geen verschil is gemeten. Jonge gras- en graskruidenzode moeten een vergelijkbaar doorwortelde bovenlaag kunnen vormen. Doordat verschillende kruiden verschillend wortelen zou je in theorie een beter doorwortelde ondergrond kunnen verwachten ten opzichte van gras. Dit is niet in de veldproeven gemeten. Mogelijk zijn er nog geen effecten waar te nemen na ongeveer 3-5 jaar en is er een langere looptijd nodig. Echter in de praktijk blijkt het aandeel kruiden in een productief graskruidenmengsel na 4-5 jaar af te nemen. Dat betekent dat er na 4-5 jaar geen groot verschil met grasland is, met dien verschil dat er mogelijk meer soorten gras staan. Of een veehouder gaat scheuren hangt dan af van de kwaliteit en hoeveelheid ruwvoeropbrengst. Productief kruidenrijk grasland wordt sinds enkele jaren breed in de praktijk toegepast en het beheer van graskruiden (persistentie) is nog volop in ontwikkeling. Hierbij speelt soms de bemesting mee. Als een veehouder niet terughoudend bemest, worden de meeste kruiden snel weggeconcurrerd door het gras. De veldproef op Zuidelijk zand was 5 jaar oud tijdens de laatste bemonstering en de veldproef op Noordelijke klei 3 jaar. Op dit moment lijkt het dat de samenstelling van graskruidenpercelen na 4-5 jaar beweegt naar een hoog aandeel gras waarin slechts een beperkt aantal van de ingezaaide soorten kruiden zijn overgebleven. Internationaal gezien zijn er ook maar weinig veldproeven die kijken naar lange termijneffecten van productief kruidenrijk grasland (Martinez Garcia *et al.* 2023). De meeste aandacht gaat namelijk naar natuurlijke bemestingsarme soortenrijke graslanden, waarbij enkele studies wel effecten zien. Martinez Garcia *et al.* (2023) concluderen op basis van internationale literatuur dat productief kruidenrijk grasland niet noodzakelijk voor meer koolstof in de bodem hoeft te zorgen. Het is namelijk een alternatief voor leeftijd grasland verhogen terwijl er voor kruidenrijk grasland vaker gescheurd moet worden, wat een teruggang van de koolstofvoorraad kan teweegbrengen.

#### 4.11 Agroforestry (op grasland)

Uit de resultaten van de gemeten praktijkpercelen op grasland komt geen significant positief effect, maar wel een positieve trend van een hogere vastlegging nabij een bomenrij. Dit sluit aan bij bestaande literatuur over bodemkoolstofvastlegging in agroforestry systemen in een gematigd klimaat met een gemiddelde vastlegging van 1,3 ton CO<sub>2</sub>/ha/jr. (Mayer *et al.*, 2022). In dezelfde literatuur wordt gemiddeld een hogere vastlegging gevonden voor inpassing van

agroforestry op bouwland in vergelijking met grasland, wat er op duidt dat er op bouwland een grotere potentie ligt. Dit komt onder andere doordat grasland zelf vaak al zorgt voor een vrij hoog koolstofgehalte en organische stof aanvoer. Dat agroforestry potentie heeft om bij te dragen aan koolstofvastlegging is duidelijk. Er bestaan echter veel verschillende vormen van agroforestry systemen, waardoor het niet mogelijk is om één kengetal te geven voor koolstofvastlegging door agroforestry. Dit hangt namelijk sterk af van de ontwerpkeuzes en de lokale context ([WUR Agroforestry Factsheet 3](#)).

**Toepasbaarheid maatregel**

Qua toepassing en opschaalbaarheid is er veel ruimte om in Nederland meer agroforestry toe te passen in de landbouw en dit biedt ook meekoppelkansen voor andere opgaven in de landbouw. Bovendien leveren agroforestry systemen ook een bijdrage aan koolstofvastlegging via hun bovengrondse biomassa, die vaak groter is dan de vastlegging in de bodem. Het verandert echter wel degelijk de bedrijfsvoering van een landbouwer, en dus moet er goed nagedacht worden over hoe - en of - dit ingepast wordt.

## 5 Algemene discussie

De besproken resultaten bieden waardevolle inzichten in de gemeten effecten van verschillende maatregelen op koolstofvastlegging op verschillende locaties in Nederland. Deze discussie richt zich op aanvullende overwegingen die van invloed zijn op de interpretatie en het potentieel van deze maatregelen, rekening houdend met de genoemde discussiepunten.

### **Uniformiteit van meetmethoden en meetprocedures**

De kracht van deze studie ligt in het gebruik van dezelfde meetmethoden en bemonsteringsprotocol over verschillende proeven, grondsoorten, praktijkpercelen en maatregelen. Dit maakt het mogelijk om metingen van verschillende locaties met elkaar te vergelijken.

Er is gekozen om naast de laag 0-30 cm ook de diepere bodemlaag 30-60 cm te bemonsteren aangezien steeds meer studies aangeven dat ook hier veranderingen in de bodemkoolstofvoorraad optreden (Skadell et al., 2023). In deze studie zijn de twee bodemlagen niet bij elkaar opgeteld omdat er dan geen inzicht ontstaat over de verschillen in dynamiek tussen de bodemlagen. Daarnaast wordt er bij het sommeren van de bodemlagen extra variatie gecreëerd, waardoor er mogelijk minder gemakkelijk een effect kan worden aangetoond van een maatregel. De diepere laag wordt zelden geploegd en is daardoor minder homogeen. Meestal werken koolstof bevorderende maatregelen van bovenaf (Bai et al., 2019). Daardoor zijn significant aantoonbare resultaten in de diepere laag veel minder snel te verwachten, wat ook uit de resultaten in deze studie blijkt.

### **Praktijkpercelen en beperktheid van veldproeven en looptijden**

In het Nederlandse landbouwkundige onderzoek valt op dat er vergeleken met andere landen een beperkt aantal langdurige veldproeven bestaat, zoals opgemerkt door Körschens (2006). Voorbeelden van enkele van 's werelds langstlopende veldproeven zijn te vinden in Rothamsted, waar sommige al meer dan 50 jaar, en zelfs tot 100 jaar, lopen (Poulton et al., 2018). Echter, de directe toepasbaarheid van resultaten uit buitenlandse veldproeven of meta-analyses op de Nederlandse situatie is complex. Rothamsted, bijvoorbeeld, is gelegen op kleigronden en karakteriseert zich door extensieve bouwplannen, voornamelijk gebaseerd op granen, met relatief lage initiële koolstofniveaus (ongeveer 1.3%).

Om een nauwkeuriger inzicht te verkrijgen in de effecten van maatregelen in de Nederlandse context, zijn gegevens verzameld van verschillende locaties. In verschillende veldproeven op kleigrond, met looptijden variërend van 9 tot 25 jaar, zijn effecten waargenomen, met name bij maatregelen zoals organische toevoegingen (compost, vaste mest) en NKG-maisteelt. In de literatuur wordt beschreven dat veranderingen in bodemkoolstof pas meetbaar zijn in veldproeven met een looptijd van 10 jaar (Smith, 2004; Haddaway et al., 2017, Young et al., 2021) of langer (Körschens, 2006).

Aan de andere kant, bij veldproeven met groenbemesters, kruidenrijk grasland en vanggewassen, zijn er geen meetbare veranderingen waargenomen na respectievelijk 5-6 jaar, 3-5 jaar en 14 jaar. Deze afwezigheid van meetbare effecten kan deels worden toegeschreven

aan een kleinere aanvoer waardoor een langere looptijd nodig is. Interessant is dat zelfs na 14 jaar van een vanggewassenproef op kleigrond in Flevoland, de effecten minimaal waren.

Wanneer langdurige veldproeven niet beschikbaar waren om een specifieke maatregel te evalueren, is een vergelijking uitgevoerd op basis van een zo groot mogelijk aantal praktijkpercelen. Hierbij ging het om de maatregelen rustgewassen, blijvend grasland, leeftijd grasland verhogen, maisland omzetten naar grasland, meerjarige akkerranden, agroforestry en één meetjaar voor productieve en extensieve kruidenrijk graslanden. Deze aanpak vereiste aanzienlijke inspanningen om geschikte percelen te identificeren die voldeden aan de selectiecriteria, toestemming te verkrijgen en de percelen te bezoeken. En zelfs na deze nauwkeurige selectie kunnen is niet uit te sluiten dat sommige maatregelen voornamelijk worden genomen op specifieke gronden, bijvoorbeeld meer graan en blijvend gras op de zwaardere kleigronden.

Op kleigrond zijn significante effecten waargenomen bij de vergelijking van akkers en jong grasland versus oude graslanden, en ook bij grassige meerjarige akkerranden en een lichte trend voor aandeel graan. Op zandgronden bleek het echter moeilijker om significante verschillen aan te tonen, alleen bij agroforestry was er een trend. In dit opzicht lijken perceelvergelijkingen tot nu toe voornamelijk effectief te zijn voor maatregelen waarvan grote effecten worden verwacht, en dan in het bijzonder op kleigrond.

### **Tijdelijkheid van jaarlijks vastleggingspotentieel**

Een cruciaal aspect bij het interpreteren van de resultaten is het begrijpen van de tijdelijkheid van het vastleggingspotentieel. Terwijl sommige maatregelen aanzienlijke koolstofvastlegging lijken te stimuleren, moet worden benadrukt dat er na verloop van tijd een nieuw evenwicht kan ontstaan tussen aanvoer en afbraak. Dit betekent dat de initiële toename in organische stof niet oneindig zal doorgaan en dat het belangrijk is om koolstofvastlegging niet als een lineaire toename te zien, maar als een afvlakkende curve. Op welke koolstofvoorraad een nieuw evenwicht ontstaat tussen afbraak en aanvoer zal afhangen van allerlei verschillende factoren zoals, grondsoort (kleigehalte), en initiële organische stofgehaltenes (Körschens, 2006). Er zijn studies die op de hele lange termijn (>100 jaar) een afvlakking laten zien (Poulton et al., 2018), maar ook die dit al na 40 jaar aantonen (West & Post, 2007). Daardoor kan het effect van een maatregel verschillend zijn per locatie. Deze 'volhoudbaarheid van de koolstof vastlegging' verdient nader onderzoek waarbij naast een modelbenadering ook de resultaten uit de LTL's nader geanalyseerd zouden kunnen worden. Bij compost en meer blijvend grasland op zand en bij compost in de veenkoloniën is geen toename te zien, terwijl op kleigronden wel een effect is waargenomen. Het kleigehalte is een van de belangrijkste factoren die het organische stofgehalte in lange termijn veldproeven bepalen (Körschens, 2006). Klei en silt bevatten veel kleine poriën en een groot reactief oppervlak (voor adsorptie) die organische stof beschermen tegen afbraak. Daarom worden de grootste effecten (+25%) van organische stofbeheer in het algemeen gevonden in klei (inclusief zavel). In zand gaat de afbraak sneller en is het moeilijker het organische stofgehalte te verhogen (+10%) met name als het begin niveau al relatief hoog is (voor een zandgrond). Boven een bepaald evenwichtsniveau wordt de koolstofvastlegging nul (Körschens, 2006). Mogelijk is het organische stofgehalte ook te hoog op zandgrond om een additioneel effect van compost of andere aanvoer van koolstof te bewerkstelligen. Aanvoer en afbraak lijken hier op een nieuw evenwicht te zijn beland wat mogelijk samenhangt met de grond

die zich al in een steady-state bevindt. De extra aangevoerde koolstof lijkt hier ook minder goed te stabiliseren. Redenen hiervoor kunnen zijn dat de mineraal-geassocieerde organische koolstof (MAOM in het Engels) al richting verzadiging gaat of dat de variatie tussen de herhalingen te groot is om een effect te kunnen aantonen. Maar om dit te bepalen is meer onderzoek nodig. Ook andere recente studies laten zien dat het gemeten effect van een maatregel erg kan afhangen van de locatie en de daarbij behorende kleigehalte en initiële organisch stofgehalte (Lessman et al., 2022; Gocke et al., 2023).

### **Relatieve koolstofvastlegging**

Binnen deze studie is een aanpak gebruikt waarbij verschillende behandelingen zijn vergeleken; een controle met een behandeling met een koolstofmaatregel. Het verschil in de koolstofvoorraad is vervolgens gedeeld door de looptijd van een proef of de ingeschatte tijd van het toepassen van een bepaalde gewasrotatie of de leeftijd van een grasland nadat het is omgezet vanaf mais. Dit geeft de relatieve koolstofvastlegging weer. Hierbij wordt aangenomen dat de controlebehandeling zich in een steady state bevindt en alle behandelingen hetzelfde startpunt hadden. Wanneer beide behandelingen een negatieve trend in het gehalte koolstof hebben, maar de behandeling met de klimaatmaatregel minder afbraak veroorzaakt, zoals bij de NKG in mais na grasland, is sprake van additionaliteit. Dat hoeft dus niet te betekenen dat de koolstofvoorraad in de grond daadwerkelijk omhooggaat. Om dit te kunnen aantonen zijn tijdreeksen nodig van metingen met uniforme meetmethoden, echter zijn deze niet of nauwelijks beschikbaar voor Nederlandse veldproeven. Maar de maatregelen met een positieve relatieve koolstofvastlegging kunnen sowieso helpen bij het reduceren van verliezen van koolstof. Dit is zeer van belang voor de reductie van een negatieve trend van het gehalte koolstof die is gevonden in Nederlandse minerale landbouwbodems (Knotters et al., 2022), wat ook in andere Europese landen is geobserveerd (Bellamy et al., 2005; Heikkinen et al., 2013; Keel et al., 2019; Knotters et al., 2022; Meersmans et al., 2009; Taghizadeh-Toosi et al., 2014).

### **Optimaliseren modellen voor Nederlandse context**

In de vijf jaar dat Slim Landgebruik loopt zijn in principe alle Nederlandse langlopende veldproeven bemonsterd, en daarnaast kortlopende veldproeven en een groot aantal praktijkpercelen. Deze gegevens kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan het verder toepasbaar maken van koolstofmodellen voor verschillende Nederlandse locaties en de Nederlandse context en voor verschillende maatregelen.

## 6 Conclusies

De onderzoeksvraag van deze analyse was: Welke van de onderzochte maatregelen voor de akkerbouw en veehouderij in Nederland kunnen bijdragen aan koolstofvastlegging? Deze analyse heeft tot de volgende antwoorden geleid:

### Akkerbouw

- Aanpassen gewasrotaties door een groter aandeel graan, bemeten op praktijkpercelen, had een positieve trend van gemiddeld 2,9 CO<sub>2</sub>/ha/jaar op klei. Voor andere rustgewassen en een grote aandeel graan op zandgrond werden geen aantoonbare effecten gevonden.
- Voor groenbemesters is in de veldproeven op zand geen aantoonbaar effect gemeten op de bodemkoolstof.
- De maatregel compost toevoegen leidde tot een koolstofvastlegging van 1,4 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar op klei. Op zuidelijk zand en in de Veenkoloniën is geen aantoonbaar effect gevonden, al was het gemiddelde op zandgrond wel positief.
- Voor NKG (niet-kerende grondbewerking) in de akkerbouw op kleigrond is geen effect gevonden, terwijl er in de ondergrond een negatief effect was. Op zandgrond is er een significant negatief effect gevonden in beide bodemlagen.
- Meerjarige akkerranden gaven, in de rand, een gemiddelde koolstofvastlegging van 5,7 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar op klei. In de ondergrond is ook een positief effect gevonden van akkerranden. Op zand is geen effect aangetoond.

### Veehouderij

- In de veehouderij is een aantoonbaar positief effect gevonden voor de maatregelen meer blijvend grasland en leeftijd grasland verhogen, bemeten op praktijkpercelen, op kleigrond, ter grootte van 12,8 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar in de bouwvoor. In de ondergrond is ook een significant positief effect gevonden. Op zandgrond is er geen aantoonbaar effect gevonden.
- De maatregel wisselteelt mais-grasklaver, welke alleen op praktijkpercelen op zandgronden bemeten is, toonde geen significant effect aan.
- We zien bij NKG in de maisteelt op kleigrond dat NKG heeft gezorgd voor een verminderde afbraak van koolstof wat is opgebouwd in meerjarig grasland (2,2 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar). Op zandgrond was er geen effect van NKG in de maisteelt.
- De LTL's voor kruidenrijk grasland tonen geen aantoonbare effecten in de bemeten periode.
- Voor vanggewassen is in de veldproef op klei geen aantoonbaar effect gemeten op de bodemkoolstof.
- Agroforestry laat op graslandpercelen een positieve trend zien met een koolstofvastlegging in de bodem van gemiddeld 1,7 ton CO<sub>2</sub>/ha/jaar in de strook tot 20m van de bomenrij.



## Aanvullende conclusies en aanbevelingen

- Het gebruik van consistente meetmethoden en bemonsteringsprotocollen over verschillende LTL's, zowel veldproeven als praktijkpercelen, en bodemtypes is essentieel om effectieve vergelijkingen te maken tussen maatregelen voor koolstofvastlegging. Deze uniforme aanpak biedt een solide basis voor het beoordelen van de effectiviteit van diverse strategieën. Het aanvullen van de metingen met koolstoffracties, zoals POM en MAOM, geeft meer inzicht in de stabiliteit en verzadiging van de bodem.
- Over het algemeen was de zekerheid van de koolstofvastlegging het grootst op kleigronden, gevolgd door zandgronden en Veenkoloniale gronden, zoals blijkt uit de grote betrouwbaarheidsintervallen. Bodemkenmerken, zoals kleigehalte, initiële organische stofgehaltenes en heterogeniteit spelen mee in de meetbaarheid van effecten en de snelheid van koolstofvastlegging. In verschillende contexten kan een maatregel daarom een verschillend effect hebben. De grote heterogeniteit op zandgronden vraagt om de monitoring hierop aan te passen, bijvoorbeeld met extra metingen.
- Om een verwacht effect van een maatregel op een specifieke plek te bepalen zijn koolstof-rekenmodellen nodig, maar deze moeten wel zoveel mogelijk zijn aangepast en getest aan de Nederlandse context (onze bodems, klimaat, vruchtwisseling, bemesting en mechanisatie). In het bijzonder zou er in modellen aandacht moeten komen voor de moeilijkheid en onzekerheid van koolstofvastlegging op de Nederlandse zandgronden, zo ook bij de modelmatige berekeningen van de potentie voor koolstofvastlegging op Nationale schaal (Lesschen et al., 2021).
- Het feit dat diepere bodemlagen (30-60 cm) zijn opgenomen in het onderzoek is belangrijk, omdat er ook veranderingen in de koolstofopslag in deze lagen zijn aangetoond (akkerranden, NKG en leeftijd grasland verhogen en meer blijvend grasland). Daarom is deze laag ook in de monitoring van belang.
- De veldproeven die in deze studie zijn bemonsterd hebben verschillende looptijden, waardoor het moeilijk is om te bepalen of een effect van een maatregel significant of niet significant is door de looptijd, de bodemkenmerken of de effectiviteit van de maatregel. Dit vraagt om experimenten met lange looptijden. Vooral op zandgronden is dit van belang, door de grote onzekerheid in koolstofvastlegging.
- Bij afwezigheid van veldproeven is uitgeweken naar vergelijkingen van zo veel mogelijk praktijkpercelen. Hierbij zijn significante verschillen waargenomen op kleigrond voor de maatregelen leeftijd grasland verhogen, meer blijvend grasland en akkerranden. Verschillen in bodemkenmerken en management overschaduwden mogelijk het effect van andere maatregelen, zoals aanpassen gewasrotatie en kruidenrijk grasland. Om hiervoor rekening te houden zijn nieuwe (langlopende) veldproeven nodig.
- In dit project is gekeken naar relatieve koolstofvastlegging, met behulp van een vergelijking van de koolstofvoorraad tussen een controle en een behandeling met een maatregel, gedeeld door de looptijd. Hiermee is niet te bepalen of er een dalende of stijgende trend in koolstof is door de tijd. Om te bepalen of er daadwerkelijk een netto vastlegging van koolstof is, zijn (langlopende) tijdreeksen nodig.
- De dynamiek van koolstofvastlegging laat altijd een afvlakkende curve zien, daarom kan koolstofvastlegging op de lange termijn niet worden uitgedrukt in één waarde voor de snelheid ervan. Om te bepalen waar de curve afvlakt zijn ook langlopende tijdreeksen nodig.

- Het is aan te bevelen om het nut van de maatregelen niet alleen vanuit koolstofvastlegging te bekijken maar ook naar win-wins en trade-offs met het leveren van andere functies van de bodem, en hoe deze afhangen van de bodemsoort.

## 7 Referenties

- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. M., & Walker, S. C. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1).
- Bai X., Huang Y., Ren W., Coyne M., Jacinthe P.-A., Tao B., Hui D., Yang J., Matocha C. (2019). Responses of soil carbon sequestration to climate-smart agriculture practices: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 25 (8), pp. 2591 - 2606
- Bellamy, P. H., Loveland, P. J., Bradley, R. I., Lark, R. M., & Kirk, G. J. D. (2005). Carbon losses from all soils across England and Wales 1978–2003. *Nature*, 437(7056), 245–248.
- Coleman, K., & Jenkinson, D. S. (1996). RothC-26.3-A Model for the turnover of carbon in soil. In *Evaluation of soil organic matter models* (pp. 237-246). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Conant, R. T., K. Paustian, and E. T. Elliott (2017). Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. *Ecological Applications* 27, 662–668.
- Conant, R. T., K. Paustian, and E. T. Elliott (2001). Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. *Ecological Applications* 11, 343–355.
- Fohrafellner, J., Zechmeister-Boltenstern, S., Murugan, R., & Valkama, E. (2023). Quality assessment of meta-analyses on soil organic carbon. *SOIL*, 9(1), 117–140.
- Gentsch et al., (In Voorbereiding). Cover crops improve soil structure and change OC distribution in macroaggregate fractions. [gentsch@ifbk.uni-hannover.de]
- Gocke, M. I., Guigue, J., Bauke, S. L., Barkusky, D., Baumecker, M., Berns, A. E., ... & Amelung, W. (2023). Interactive effects of agricultural management on soil organic carbon accrual: A synthesis of long-term field experiments in Germany. *Geoderma*, 438, 116616.
- Handboek bodem en bemesting - Groenbemesters. Geraadpleegd via <https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/handeling/groenbemesters.htm>
- Handboek Groenbemesters. [Website: www.handboekgroenbemesters.nl](http://www.handboekgroenbemesters.nl)
- Haddaway, N. R., Hedlund, K., Jackson, L. E., Kätterer, T., Lugato, E., Thomsen, I. K., Jørgensen, H. B., & Isberg, P.-E. (2017). How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. *Environmental Evidence*, 6(1), art. no. 30.
- Hanegraaf, M.C., H.G.M. van den Elsen, J.J. de Haan, & S.M. Visser (2019). Bodemkwaliteitsbeoordeling van landbouwgronden in Nederland – Indicatorset en systematiek, versie 1.0. Wageningen Research, Rapport WPR-795, 34 p.
- Hoek, J., Balen, D. van, Haagsma, W., Berg, W. van den, Asperen, P. van, Sukkel, W., Haan, J. de, & Bloem, J. (2019). Bodemindicatoren in BASIS: Identificatie van de belangrijkste biologische en chemische bodemparameters ("bodemindicatoren") in het project BASIS over de periode 2009-2016. [Website: https://doi.org/10.18174/511496](https://doi.org/10.18174/511496)
- Hoogmoed, M., Janmaat, L., Verstand, D., Bijker, J. W., Schurer, B. L. M., Timmermans, B. G. H., ... & Koopmans, C. (2021). Bodem & Klimaat Netwerk Akkerbouw: Voortgangsrapportage juni 2021. Slim Landgebruik.
- Hoogmoed, M., Timmermans, B. G. H., Bloem, J., van Asperen, P., Cruijssen, J. J. P., de Haan, J. J., ... & Koopmans, C. J. (2021). Verschillen in bodemkwaliteit door koolstofmaatregelen: In beeld gebracht aan de hand van de BLN-indicatorset. Slim Landgebruik.
- Koopmans, C.J., B. Timmermans, J.P. Wagenaar, J.P. van 't Hull, M.C. Hanegraaf, & J.J. de Haan (2019). Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof: Resultaten uit

- Lange Termijn Veldproeven (LTE's): voortgangsrapportage 2019. Louis Bolk Instituut en Wageningen Research, 54 p.
- Koopmans, C.J., B. Timmermans, J.P. Wagenaar, J.P. van 't Hull, M.C. Hanegraaf, & J.J. de Haan (2019). Bijlage bij Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof. Louis Bolk Instituut en Wageningen Research, 54 p.
- Koopmans, C., Timmermans, B., de Haan, J., van Opheusden M., Selin Norén, I., Slier, T., & Wagenaar, J.P. (2020). Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden 2019-2023: voortgangsrapportage 2020. Louis Bolk Instituut en Wageningen Research, 35 p.
- Körschens, M. (2006). The importance of long-term field experiments for soil science and environmental research—a review. *Plant Soil Environ*, 52(Special Issue), 1–8.
- Krauss, M., Wiesmeier, M., Don, A., Cuperus, F., Gattinger, A., Gruber, S., Haagsma, W. K., Peigné, J., Palazzoli, M. C., Schulz, F., van der Heijden, M. G. A., Vincent-Caboud, L., Wittwer, R. A., Zikeli, S., & Steffens, M. (2022). Reduced tillage in organic farming affects soil organic carbon stocks in temperate Europe. *Soil and Tillage Research*, 216, 105262.
- Lessmann, M., Ros, G.H., Young, M.D., & de Vries, W. (2022). Global variation in soil carbon sequestration potential through improved cropland management. *Global Change Biology*, 28, 1162–1177.
- 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.
- Lesschen, J. P., Hendriks, C., Slier, T., Porre, R., Velthof, G., & Rietra, R. (2021). *De potentie voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw*.
- Lesschen, J. P., Vellinga, T., Dekker, S., van der Linden, A., & Schils, R. (2020). Mogelijkheden voor monitoring van CO<sub>2</sub>-vastlegging en afbraak van organische stof in de bodem op melkveebedrijven (No. 2993). Wageningen Environmental Research.
- Martinez Garcia, L.B., Herbert, Z.G.J., Westerik, D. & Schepens, J.A.B. (2023). Carbon sequestration through agricultural practices – a review of international literature. Slim Landgebruik. [Website: https://slimlandgebruik.nl/sites/default/files/2023-07/SL%20A7%20Onderbouwing%20C-vastlegging%20-%20eindrapportage.pdf](https://slimlandgebruik.nl/sites/default/files/2023-07/SL%20A7%20Onderbouwing%20C-vastlegging%20-%20eindrapportage.pdf)
- Mayer, S., Wiesmeier, M., Sakamoto, E., Hübner, R., Cardinael, R., Kühnel, A., & Kögel-Knabner, I. (2022). Soil organic carbon sequestration in temperate agroforestry systems—A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 323, 107689.
- Norén, I. S., van Geel, W., & de Haan, J. (2021). *Cover crop reference values: Effective organic matter and nitrogen uptake* (No. WPR-877). Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research (WPR), Business unit Field Crops.
- Pardon, P., Reubens, B., Reheul, D., Mertens, J., De Frenne, P., Coussement, T., ... & Verheyen, K. (2017). Trees increase soil organic carbon and nutrient availability in temperate agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 247, 98–111.
- Riemens, M., Huiting, H., Deru, J., van Schooten, H. A., & Weide, R. V. D. (2017). Duurzaam bodembeheer maïs: Maïs en Bodem jaarrapport 2016.
- Schepens, J.A.B., Timmermans, B.G.H., Fuchs, L.M., Peters, R., Bloem, J., Heupink, D.T., Wagenaar, J.P. & Koopmans, C.J. (2022). Meerjarige evaluatie van het vastleggen van koolstof in minerale gronden 2018-2020. Louis Bolk Instituut en Wageningen Research.

- Schouten, T., Bloem, J., De Goede, R. G. M., van Eekeren, N., Deru, J., Zanen, M., Sukkel, W., Van Balen, D. J. M., Korthals, G., & Rutgers, M. (2018). Veldveldproeven uitgelicht: Niet-kerende grondbewerking goed voor de bodembiodiversiteit? *Bodem*, *3*, 20–23.
- Selin Norén, I., van Geel, W. & de Haan, J. (2021). Cover crop reference values: effective organic matter and nitrogen uptake. Slim Landgebruik. [Website: edepot.wur.nl/544859](http://Website: edepot.wur.nl/544859)
- Skadell, L. E., Schneider, F., Gocke, M. I., Guigue, J., Amelung, W., Bauke, S. L., ... & Don, A. (2023). Twenty percent of agricultural management effects on organic carbon stocks occur in subsoils—Results of ten long-term experiments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *356*, 108619.
- 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.
- Slier, T., Lesschen, J. P., Stout, B. J. B., Porre, R. J., de Haan, J. J., & Koopmans, C. (2021). CO2Bodem Tussenresultaten Slim Landgebruik. Slim Landgebruik. [Website: edepot.wur.nl/564620](http://Website: edepot.wur.nl/564620)
- Slier, T., Westerik, B., Lesschen, J. P., Koopmans, C., Schepens, J. A. B., & Vervuurt, W. (2022). CO2Bodem Tussenresultaten Slim Landgebruik. Slim Landgebruik.
- Smith, P. (2004). How long before a change in soil organic carbon can be detected? *Global Change Biology*, *10*, 1878–1883.
- Van Eekeren, N., Bommelé, L., Bloem, J., Schouten, T., Rutgers, M., de Goede, R., 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.
- van Tol-Leenders, D., Knotters, M., de Groot, W., Gerritsen, P., Reijneveld, A., van Egmond, F., ... & Kuikman, P. (2019). Koolstofvoorraad in de bodem van Nederland (1998-2018): CC-NL (No. 2974). Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/509781>
- Viaene, J., Van Lancker, J., Vandecasteele, B., Willekens, K., Bijttebier, J., Ruyschaert, G., De Neve, S., & Reubens, B. (6358). Opportunities and barriers to on-farm composting and compost application: A case study from northwestern Europe. *Waste Management*, *48*, 181–192.
- West, T. O., & Six, J. (2007). Considering the influence of sequestration duration and carbon saturation on estimates of soil carbon capacity. *Climatic Change*, *80*(1-2), 25–41.
- Young M.D., Ros G.H., de Vries W.(2021). Impacts of agronomic measures on crop, soil, and environmental indicators: A review and synthesis of meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *319*, art. no. 107551
- Zavattaro, L., Bechini, L., Grignani, C., van Evert, F.K., Mallast, J., Spiegel, H., Sandén, T., Pecio, A., Giráldez Cervera, J.V., Guzmán, G., Vanderlinden, K., D'Hose, T., & Ruyschaert, G. (2017). Agronomic effects of bovine manure: A review of long-term European field experiments. *European Journal of Agronomy*, *90*, 127–138.

# Bijlage 1: Metingen 2021, 2022 en voorjaar 2023 per maatregel

## Maatregelen en LTL's in 2021, 2022 en voorjaar 2023

In Tabel B1.1 staan de Lange termijn locaties (LTL's) vermeld waar in het najaar en winter van 2021-2022, en voorjaar 2023 is gemeten. Binnen de akkerbouw is gekozen voor de maatregelen 'Aanpassen gewasrotatie', 'Groenbemesters', 'Méérjarige akkerranden' en 'Agroforestry' te onderzoeken. De maatregelen 'Aanpassen gewasrotatie', 'Groenbemesters', 'Méérjarige akkerranden' zijn verdiepend onderzocht naar aanleiding van de resultaten uit eerdere jaren (Koopmans et al., (2019); Koopmans et al., (2020); Koopmans et al., (2022) zoals weergegeven in Tabel B1.1. Voor de maatregel 'Agroforestry' in de akkerbouw betreft het een nulmeting. Binnen de veehouderij zijn de maatregelen 'Leeftijd grasland verhogen', 'Mais-gras wisselteelt', 'Kruidenrijk grasland' en 'Agroforestry' onderzocht. De maatregelen 'Leeftijd grasland verhogen', 'Wisselteelt mais-grasklaver' en 'Kruidenrijk grasland' zijn verdiepend onderzocht naar aanleiding van de resultaten uit eerdere jaren (Koopmans et al., (2019); Koopmans et al., (2020); Koopmans et al., (2022)). Voor de maatregel 'Agroforestry' in de veehouderij betreft het een eerste meting. De details van de verschillende LTL's en proefopzetten zijn hieronder beschreven.

*Tabel B1.1 Geselecteerde maatregelen en de LTL waarin deze gemeten zijn in meetjaar 2021, 2022 en voorjaar 2023, op klei en op zand. Tussen haakjes is aangegeven of deze LTL's een bestaand volwaardige veldproef betreffen (Asendorf, Lelystad), of praktijkpercelen (bedrijven). Daarnaast is de regio waarin de betreffende LTL zich bevindt genoemd.*

Akkerbouw	Klei	Zand
Aanpassen gewasrotatie (aandeel graan)	Centrale klei (bedrijven -Flevoland)	Zuidoostelijk zand (bedrijven - Brabant)
Aanpassen gewasrotatie (aandeel luzerne)	Centrale klei (bedrijven -Flevoland)	
Aanpassen gewasrotatie (aandeel graszaad)	Zuidelijke klei (bedrijven -Zeeland)	
Aanpassen gewasrotatie (aandeel hennep)		Noordelijk zand (bedrijven - Veenkoloniën)
Groenbemesters		Duitse löss (Asendorf - Nedersaksen)
Méérjarige akkerranden	Centrale klei (bedrijven -Flevoland)	Noordoostelijk zand (bedrijven - Drenthe)
Agroforestry	Centrale klei (Lelystad - Flevoland)	
Veehouderij		
Leeftijd grasland verhogen		Zuidoostelijk zand (bedrijven - Brabant)
Wisselteelt mais-grasklaver		Zuidoostelijk zand (bedrijven - Brabant)
		Centraal zand (bedrijven -Overijssel)
Kruidenrijk grasland		Centraal zand (bedrijven -Gelderland)
		Zuidelijk zand (Kelpen-Oler - Limburg)
Agroforestry		Zuidoostelijk zand (bedrijven - Brabant)
Vanggewassen maisteelt	Centrale klei (Lelystad - Flevoland)	
NKG-maisteelt	Centrale klei (Lelystad - Flevoland)	

## Statistiek

De statistiek in dit onderzoek is uitgevoerd met behulp van het programma Rstudio. Daarbij is gebruik gemaakt van een ANOVA, waarbij herhalingen zijn toegevoegd in de statistische test als block bij veldproeven. Bij een significant resultaat van een ANOVA is een *least significant difference* (LSD) post-hoc test uitgevoerd om de verschillen tussen de behandelingen te bepalen. Als de data niet normaal verdeeld waren is een log-transformatie uitgevoerd waarna de verdeling in veel gevallen normaal bleek en alsnog een ANOVA-analyse kon worden uitgevoerd.

Bij de vergelijking van praktijkpercelen om de maatregelen kruidenrijk grasland te evalueren was er een uitschieterende meting van organische stof van 13,5% in een perceel met Engels raaigras; deze is uit de analyse gelaten. De vergelijking van grasland met Engels raaigras, productief kruidenrijk grasland en extensief kruidenrijk grasland lag in 12 clusters. Het cluster is meegenomen als blok in de ANOVA.

Bij de evaluatie van de maatregel akkerranden zijn paartjes van een akkerrand en het naastgelegen perceel vergeleken. Hierbij is het paar als blok meegenomen in de ANOVA.

Bij de evaluatie van de maatregel 'Agroforestry' in de veehouderij op zuidelijk zand is een lineaire regressie gebruikt. Voor de evaluatie van deze maatregel is op verschillende afstanden tot een bomenrij en een controle-rij gemeten in een transect. Deze methode is afgeleid van de studie van Pardon et al. (2017) naar agroforestry in de akkerbouw in België. In de lineaire regressie is de behandeling meegenomen (transect met of zonder bomenrij) met als co variabele de afstand tot de bomenrij of de controlestrook. Deze analysemethode is ook afgeleid van de studie van Pardon et al. (2017).

Om de maatregel aanpassen gewasrotatie met het verhogen van het aandeel graan te evalueren zijn praktijkpercelen in verschillende regio's vergeleken. Voor de kleigronden is gekeken naar praktijkpercelen met veel en weinig graan op Zuidelijke klei (Zeeland) en Centrale klei (Flevoland) (zie paragraaf Aanpassen gewasrotatie (aandeel graan)). Bij de statistische analyse voor kleigronden is daarbij de regio als factor opgenomen.

De analyse van de maatregelen meer blijvend grasland, leeftijd grasland verhogen en wisselteelt mais-gras(klaver) gaat over metingen vanaf 2018 en zijn beschreven in de hoofdtekst in paragraaf 3.4.

De koolstof voorraad is uitgerekend met een behandeling-specifieke bodemdichtheid per laag, als de dichtheid significant verschilde per behandeling. Als dit niet het geval was is met de gemiddelde dichtheid van een LTL gerekend, per bodemlaag.

## Aanpassen gewasrotatie (aandeel graan)

### *Omschrijving van de maatregel*

Het verhogen van het aandeel rustgewassen in de rotatie, van een laag aandeel naar een hoger aandeel (tot 50%). Gemeten is in de rustgewassen graan, graszaad, luzerne en vezelhennepe.

### *Methodes*

Het aanpassen van gewasrotaties met het oog op het vastleggen van koolstof kan worden gedaan door het verhogen van het aandeel graan in het bouwplan. Ook kan de maatregel worden ingevuld door het aandeel andere rustgewassen zoals bijvoorbeeld grasklaver, luzerne en graszaad in de gewasrotatie te verhogen. In 2019 en 2021 zijn metingen gedaan om de maatregelen te evalueren waarbij de gewasrotatie wordt aangepast met een groter aandeel graan in de rotatie. Daartoe zijn metingen uitgevoerd op praktijkpercelen van bedrijven met een voor de regio hoog en laag aandeel graan in de rotatie. Voor de kleiregio's is een laag aandeel graan ca 10% van het bouwplan. In de zandregio is dat 0%. Voor een hoog aandeel graan gaat het in de kleiregio om meer dan 40% graan in het bouwplan, op zand is dit ca 30%. De percelen zijn geselecteerd op basis van de BRP-gewashistorie van de afgelopen 16 jaar gekoppeld aan de perceel gegevens. Daarnaast zijn percelen binnen een regio geselecteerd met hetzelfde bodemtype, zoals gedefinieerd door de gedetailleerde bodemkaart (<https://www.pdok.nl/-/de-bodemkaart-van-nederland-beschikbaar-bij-pdok>).

In 2019 zijn ook al een beperkt aantal percelen met veel en weinig graan bemonsterd, op zowel zuidelijk zand als centrale klei en zuidelijke klei (referentie). In 2021 zijn extra percelen gezocht in zuidelijk zand en centrale klei om de totale meetset te vergroten en verschillen in beheer en bodemkenmerken tussen de percelen te compenseren. In de regio Zuidoost Brabant wordt er erg weinig graan verbouwd. Hierdoor was het niet mogelijk om voldoende percelen met veel graan in de gewasrotatie te vinden. De startmetingen (metingen op percelen waar een boer recent is gestart met meer graan telen) uit 2020 zijn niet meegenomen in de analyse, aangezien hier nog geen effect op koolstof kan worden waargenomen. Daarnaast bleek het 'extensieve bouwplan' uit 2018 op zand achteraf nauwelijks onderscheidend van het intensieve bouwplan en metingen zijn om die reden buiten beschouwing gelaten. In Tabel B1.2 staan alle praktijkpercelen die zijn bemonsterd in 2019 en 2021.

*Tabel B1.2 Hoeveelheid bemeten percelen in 2019 en 2021, per regio.*

<b>Grondsoort</b>	<b>2019</b>	<b>2021</b>
Centrale klei	9	20
Zuidelijke klei	5	0
Zuidelijk zand	7	15

Voor deze analyse zijn de percelen die in 2021 zijn bemonsterd toegevoegd aan de percelen die al in 2019 zijn bemonsterd. Bij de analyse is de vergelijking tussen veel en weinig graan zo zuiver mogelijk gemaakt door twee uiterste categorieën te maken: een categorie met zoveel mogelijk graan en een met zo min mogelijk ofwel geen graan. Na een nauwkeurige analyse van de percelen zijn er meerdere percelen afgevallen doordat er toch grasland of graan in het bouwplan bleek te zitten terwijl de percelen waren geselecteerd voor de groep met weinig graan. In Tabel B1.3 staat het uiteindelijke aantal geselecteerde percelen per categorie. De twee kleiregio's zijn samen geanalyseerd.



Tabel B1.3 Overzicht van hoeveelheid praktijkpercelen per grondsoort en behandeling.

Grondsoort	Behandeling	Aantal herhalingen	Beschrijving
Centrale klei	Weinig graan	5	Aandeel graan in de rotatie van de afgelopen 16 jaar was ongeveer 10%
	Veel graan	12	Aandeel graan in de rotatie van de afgelopen 16 jaar was ongeveer 40%
Zuidelijke klei	Weinig graan	2	Aandeel graan in de rotatie van de afgelopen 16 jaar was ongeveer 10%
	Veel graan	3	Aandeel graan in de rotatie van de afgelopen 16 jaar was ongeveer 46%
Zuidelijk zand	Weinig graan	15	Aandeel graan in de rotatie van de afgelopen 16 jaar was ongeveer 0%
	Veel graan	5	Aandeel graan in de rotatie van de afgelopen 16 jaar was ongeveer 30%

Op Centrale kleigrond kwamen de percelen met veel graan uit op een gemiddeld aandeel graan van 40% en een minimum van 38%, en weinig graan met een gemiddelde van 10% en een maximum van 15%. Op Zuidelijke klei was dit veel graan met een gemiddeld aandeel graan van 46% en een minimum van 40%, en weinig graan met een gemiddelde van 10% en een maximum van 10%. Op Zuidelijke zandgrond was dit veel graan met een gemiddeld aandeel graan van 30% en een minimum van 23%, en weinig graan met een gemiddelde van 0% en een maximum van 0% (zie Tabel B1.3).

### Resultaten

Tabel B1.4 toont de effecten van het aanpassen van gewasrotaties met meer graan, zoals gemeten op praktijkpercelen op twee grondsoorten in de bovengrond (0-30 cm). We zien op zowel klei- als zandgronden geen significante verschillen in het koolstofgehalte in de bodem tussen de behandelingen met veel en weinig graan. Wel zien we een duidelijke trend naar een hogere gemiddelde koolstofvoorraad in percelen met veel graan op kleigrond ( $P=0.06$ ). Dit komt overeen met een koolstofvastlegging van ongeveer 2,9 (ton CO<sub>2</sub>/ha/jr.), wanneer we aannemen dat de verschillen tussen de percelen zijn ontstaan binnen een indicatieve looptijd van 30 jaar. Tabel B1.5 toont de effecten van gewasrotaties met meer graan in de ondergrond (30-60cm). Hier zijn de verschillen niet significant.

### Korte discussie

Bij het selecteren van praktijkpercelen met veel graan op Zuidelijke zandgrond bleek dat er erg weinig percelen waren waar meer dan 20% graan wordt geteeld, en waarbij er geen ander rustgewas zoals gras wordt geteeld. Dit maakte het extra moeilijk om voldoende percelen te vinden voor de vergelijking, waardoor de statistische power erg laag is om een verschil tussen de percelen te kunnen aantonen.

Bij klei zijn er in 2021 extra percelen bemonsterd, vooral percelen met veel graan in de rotatie. Uit de vergelijking blijkt een trend te komen van meer koolstof in de bodem bij meer graan in de rotatie. Dit is ook naar onze verwachting aangezien graan een van de meeste gewasresten achterlaat volgens het Handboek Bodem en Bemesting. Een belangrijke factor die echter meespeelt is het kleigehalte van de bodems; op zwaardere gronden wordt vaker veel graan geteeld omdat andere (rooi)gewassen het minder goed doen hier. Mogelijk zorgen de kleideeltjes op deze zwaardere gronden voor meer vastlegging van de gewasresten van het graan. In

paragraaf 4.1 in de hoofdtekst staat een uitgebreidere discussie van de maatregel aanpassen gewasrotatie.

Tabel B1.4 Aanpassen gewasrotatie (aandeel graan), meting op praktijkpercelen op Zuidelijk zand (bedrijven – Brabant) en Centrale klei (bedrijven – Flevoland en Zeeland).

Grond-soort	Behandeling	Aantal herhalingen	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO <sub>2</sub> /ha/jr.)
Centrale en Zuidelijke Klei	Weinig graan (gem. 10%)	7	1.5a	59.5a	
	Veel graan (gem. 40%)	15	2.1a	83.5a	ns (p=0.06)
Zuidelijk zand	Weinig graan (gem. 0%)	15	1.9a	79.3a	
	Veel graan (gem. 30%)	5	1.8a	77.6a	ns

Tabel B1.5 Aanpassen gewasrotatie (aandeel graan), meting op praktijkpercelen op Zuidelijk zand (bedrijven – Brabant) en Centrale klei (bedrijven – Flevoland en Zeeland). Ondergrond 30-60 cm.

Grond-soort	Behandeling	Aantal herhalingen	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO <sub>2</sub> /ha/jr.)
Centrale en Zuidelijke Klei	Weinig graan (0%)	6	1.3a	46.0a	
	Veel graan (40%)	10	2.1a	73.9a	ns
Zuidelijk zand	Weinig graan (0%)	15	1.1a	53.9a	
	Veel graan (30%)	5	0.8a	38.5a	ns

## Aanpassen gewasrotatie (aandeel luzerne/graszaad/hennep)

### Omschrijving van de maatregel

Het verhogen van het aandeel rustgewassen in de rotatie, van een laag aandeel naar een hoger aandeel (tot 50%). Gemeten is in de rustgewassen graan, graszaad, luzerne en vezelhennepe.

### Methode

In 2022 zijn opnieuw percelen bemonsterd met als doel om te kijken naar het effect van andere rustgewassen dan graan, namelijk aandeel luzerne, graszaad en hennep in de rotatie. Voor verschillende regio's is er gekeken naar verschillende rustgewassen, afhankelijk van welke het meest worden geteeld in die regio (op basis van BRP-gegevens over de geteelde gewassen). In Zeeland is er gekeken naar graszaad, in de Veenkoloniën naar hennep en in Flevoland naar luzerne. Net als in 2021 voor de perceel selectie voor percelen voor het aandeel graan (zie hierboven), zijn de percelen geselecteerd op basis van de BRP-gewashistorie van de afgelopen 16 jaar gekoppeld aan de perceel gegevens. Daarnaast zijn percelen binnen een regio geselecteerd met hetzelfde bodemtype, zoals gedefinieerd door de gedetailleerde bodemkaart (<https://www.pdok.nl/-/de-bodemkaart-van-nederland-beschikbaar-bij-pdok>).

In Tabel B1.6 staan de selectiecriteria die zijn gebruikt in de verschillende gebieden voor de selectie van praktijkpercelen met contrasterende bouwplannen: met weinig of geen rustgewassen ten opzichte van praktijkpercelen met veel rustgewassen.

Tabel B1.6 Overzicht van hoeveelheid praktijkpercelen per grondsoort en behandeling.

<b>Regio</b>	<b>Groep</b>	<b>Selectiecriteria</b>	<b>Aantal</b>
Veenkoloniën - Hennep	Percelen in de Veenkoloniën	<i>In provincie Groningen, bodemcode Hn21 (Veldpodzolgronden; leemarm en zwak lemig fijn zand), in eigendom van teler</i>	20
	Percelen met veel hennep	<i>Minimaal 4 keer hennep in de afgelopen 10 jaar en bij voorkeur meer, geen andere rustgewassen of gras in afgelopen 10 jaar, maximaal 2 keer ander rustgewas of gras in de afgelopen 16 jaar, bij voorkeur jaar van bemonstering ook hennep geteeld</i>	10
	Percelen met geen hennep	<i>Geen hennep in de afgelopen 16 jaar, geen andere rustgewassen of gras in afgelopen 10 jaar, maximaal 2 keer ander rustgewas of gras in de afgelopen 16 jaar</i>	10
Zeeland - Graszaad	Percelen in Zeeland	<i>In provincie Zeeland, bodemcodes Mn12A – Mn86 (alleen kalkrijke poldervaaggronden in zeeklei), in eigendom van teler</i>	20
	Percelen met veel graszaad	<i>Minimaal 4 jaar graszaad in de afgelopen 10 jaar en bij voorkeur meer, bij voorkeur geen en anders maximaal 2 jaar een ander rustgewas of gras in afgelopen 10 jaar, maximaal 2 keer ander rustgewas of gras in de afgelopen 16 jaar, bij voorkeur jaar van bemonstering ook graszaad</i>	10
	Percelen met geen graszaad	<i>Geen graszaad in de afgelopen 16 jaar, bij voorkeur geen en anders maximaal 2 jaar een rustgewas of gras in afgelopen 10 jaar</i>	10
Flevoland - luzerne	Percelen in Flevoland	<i>In provincie Flevoland, bodemcodes Mn12A – Mn35A (alleen kalkrijke poldervaaggronden in zeeklei), in eigendom van teler</i>	20
	Percelen met veel luzerne	<i>Minimaal 3 jaar luzerne in de afgelopen 10 jaar en bij voorkeur meer, bij voorkeur geen en anders maximaal 1 jaar een ander rustgewas of gras in afgelopen 10 jaar, bij voorkeur jaar van bemonstering ook luzerne</i>	10
	Percelen met geen luzerne	<i>Geen luzerne in de afgelopen 10 jaar, bij voorkeur geen en anders maximaal 1 jaar een ander rustgewas of gras in afgelopen 10 jaar</i>	10

### Resultaten

In geen van alle regio's komt een verschil in C-elementair (%) of de bodemkoolstofvoorraad (ton C/ha) tussen de praktijkpercelen welke wordt verklaard door het verschil in gewasrotatie (Tabel B1.7 en Tabel B1.8). Dat is zowel het geval in de bouwvoor (0-30cm) als in de ondergrond (30-60cm).

### Discussie

In de Veenkoloniën was er erg veel variatie tussen de percelen, waarschijnlijk doordat er veenlaagjes in de bodem kunnen zitten, ondanks dat we een selectie hebben gemaakt van percelen op Veldpodzolgronden

(leemarm en zwak lemig fijn zand). Het geeft aan het erg moeilijk is om een effect van een maatregel aan te tonen op deze gronden. Het kan ook zijn dat hennep te weinig zorgt voor aanvoer van organische stof in de vorm van gewasresten of wortelbiomassa. Op basis van de EOS tabel in het handboek Bodem en Bemesting is af te leiden dat de aanvoer van EOS uit gewasresten van hennep laag is.

In Zeeland is evenmin een effect gevonden van graszaad in de rotatie. In deze regio waren de bouwplannen het meest contrasterend aangezien er gemiddeld 50% graszaad in het bouwplan zat in de afgelopen 10 jaar. Verder was er relatief weinig variatie in de gehalten C-elementair tussen de percelen. Toch heeft graszaad niet gezorgd voor meer koolstof in de bodem.

Ook in Flevoland was er relatief weinig variatie tussen de praktijkpercelen in de gehalten C-elementair, maar ook hier was er geen effect. Mogelijk zorgen luzerne, graszaad en hennep voor te weinig gewasresten om het koolstofgehalte van de bodem te verhogen. Verder kunnen andere factoren in het management of perceel-historie een nog bepalendere factor zijn dan de gewasrotatie, zoals compostgebruik, of het type landgebruik voordat het perceel akker werd.

Tabel B1.7 Aanpassen gewasrotatie (aandeel luzerne/graszaad/hennep), meting op praktijkpercelen voor luzerne op Centrale klei (bedrijven – Flevoland), voor hennep in de veenkoloniën (bedrijven - Veenkoloniën) en voor graszaad in Zeeland (bedrijven – Zeeland). Bouwvoor 0-30 cm.

Grond-soort	Behandeling	Aantal herhalingen	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO <sub>2</sub> /ha/jr.)
Centrale Klei	Veel luzerne (gem. 42%)	10	2.0a	87a	
	Weinig luzerne (gem. 0%)	10	1.9a	82a	ns
Veenkoloniën	Veel hennep (gem. 38%)	10	4.9a	193a	
	Weinig hennep (gem. 0%)	10	4.1a	161a	ns
Zeeland	Veel graszaad (gem. 50%)	9	1.1a	57a	
	Weinig graszaad (gem. 0%)	10	1.3a	62a	ns

Tabel B1.8 Aanpassen gewasrotatie (aandeel luzerne/graszaad/hennep), meting op praktijkpercelen voor luzerne op Centrale klei (bedrijven – Flevoland), voor hennep op Noordelijk zand (bedrijven - Veenkoloniën) en voor graszaad in Zeeland (bedrijven – Zeeland). Ondergrond 30-60 cm.

Grond-soort	Behandeling	Aantal herhalingen	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO <sub>2</sub> /ha/jr.)
Centrale Klei	Veel luzerne (gem. 42%)	10	1.4a	54a	
	Weinig luzerne (gem. 0%)	10	1.9a	73a	ns
Noordelijk zand	Veel hennep (gem. 38%)	10	2.6a	117a	
	Weinig hennep (gem. 0%)	10	3.1a	139a	ns
Zeeland	Veel graszaad (gem. 50%)	9	0.8a	36a	
	Weinig graszaad (gem. 0%)	10	0.7a	32a	ns

## Groenbemesters

### Omschrijving van de maatregel

Groenbemesters/vanggewassen: inzet van groenbemesters/vanggewassen na de teelt van het hoofdgewas, welke vervolgens worden ingewerkt in de bodem

### Methode

Groenbemesters kunnen bijdragen aan het gehalte bodemkoolstof doordat de groenbemesters na de teelt worden ingewerkt in de bodem. In 2020 zijn er al metingen verricht in de *Clever cover cropping* veldproef op proefboerderij Nergena in Wageningen. In deze LTL op zand kwam geen effect van groenbemesters naar voren (referentie). Mogelijk lag dit aan de grote variatie tussen de herhalingen, en de korte looptijd van de proef (6 jaar). Daarom is het najaar van 2021 de *Catchy* proef op Duitse leem (Nedersaksen - Asendorf) bemonsterd. Deze proef is in 2016 gestart. Binnen de proef liggen verschillende groenbemesterbehandelingen: zwarte braak, gele mosterd, een mengsel van vier soorten en een mengsel van 12 soorten groenbemesters. De groenbemesters worden na de wintertarwe ingezaaid en voor de vorst afgesneden. De effecten van groenbemesters worden binnen twee verschillende rotaties onderzocht: een rotatie met veldboon (tarwe, mais, tarwe en veldbonen) en een rotatie met extra mais in plaats van veldbonen (tarwe, mais, tarwe, mais). De twee typen rotatie liggen niet gewaard door de gehele proef. Daardoor moet het effect van groenbemesters per rotatie worden onderzocht. Er wordt geen organische bemesting toegepast en alle behandelingen worden bewerkt met niet-kerende grondbewerking. Verdere details over de proefopzet en de geselecteerde plots zijn hieronder weergegeven.

In Tabel B1.9 staan de behandelingen in de Groenbemesterproef (Duitse leem – Asendorf) en in Bijlage 2 aanvullende informatie over de proef.

Tabel B1.9. Overzicht van de behandelingen en herhalingen in de groenbemesterproef met twee verschillende rotaties (Duitse leem – Asendorf).

Rotatie	Behandeling	Aantal herhalingen	Looptijd (jaar)
Rotatie met veldboon	Zwarte braak	3	6
	Gele mosterd	3	6
	Mix van 4 soorten	3	6
	Mix van 12 soorten	3	6
Rotatie met extra mais i.p.v. veldboon	Zwarte braak	3	6
	Gele mosterd	3	6
	Mix van 4 soorten	3	6
	Mix van 12 soorten	3	6

### Resultaten

In Tabel B1.10 en B1.11 zijn de resultaten weergegeven van de groenbemesterproef op Duitse löss (Nedersaksen - Asendorf). De proef is opgedeeld in twee gedeelten waar verschillende rotaties worden toegepast: een rotatie van wintertarwe, mais en 1 op 4 veldboon en een rotatie met extra mais in plaats van veldboon. Bij beide rotaties is geen significant effect gevonden van de groenbemesterbehandelingen die hier worden getest, zowel bij gele mosterd als bij de mix

van 4 en 12 soorten groenbemesters. Dit is te zien in Tabel B1.10 waar de gemiddelden van C-elementair nauwelijks verschillen tussen de behandelingen. In de ondergrond (Tabel B1.11) is, net als in de bouwvoor, ook geen effect te zien van de groenbemesterbehandelingen.

Tabel B1.10 Groenbemesters op Duitse löss (Nedersaksen – Asendorf). Bouwvoor 0-30 cm.

Rotatie	Behandeling	Aantal herhalingen	Looptijd (jaar)	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO <sub>2</sub> /ha/jr.)
Rotatie met veldboon	Zwarte braak	3	6	1.4a	53a	
	Gele mosterd	3	6	1.5a	55a	ns
	Mix van 4 soorten	3	6	1.4a	54a	ns
	Mix van 12 soorten	3	6	1.5a	55a	ns
Rotatie met extra mais i.p.v. veldboon	Zwarte braak	3	6	1.7a	68a	
	Gele mosterd	3	6	1.8a	70a	ns
	Mix van 4 soorten	3	6	1.8a	70a	ns
	Mix van 12 soorten	3	6	1.7a	66a	ns

Tabel B1.11 Groenbemesters op Duitse löss (Nedersaksen – Asendorf). Ondergrond 30-60 cm.

Rotatie	Behandeling	Aantal herhalingen	Looptijd (jaar)	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO <sub>2</sub> /ha/jr.)
Rotatie met veldboon	Zwarte braak	3	6	0.3a	15.8a	
	Gele mosterd	3	6	0.5a	20.4a	ns
	Mix van 4 soorten	3	6	0.5a	20.0a	ns
	Mix van 12 soorten	3	6	0.5a	20.7a	ns
Rotatie met mais i.p.v. veldboon	Zwarte braak	3	6	0.5a	20.4a	
	Gele mosterd	3	6	0.5a	21.9a	ns
	Mix van 4 soorten	3	6	0.5a	21.9a	ns
	Mix van 12 soorten	3	6	0.5a	21.9a	ns

#### Korte discussie

In de groenbemesterproef op Duitse löss (Nedersaksen - Asendorf) is geen effect gevonden van de groenbemesterbehandelingen op de koolstofvoorraad. De locatie van de proef in Asendorf is klimatologisch vergelijkbaar met Nederlandse condities, maar het bodemtype verschilt. Ook de gewasrotatie is anders; deze bestaat namelijk uit 100% maaigewassen terwijl in Nederland ook veel rooigewassen worden geteeld. Doordat maaigewassen meer gewasresten hebben dan rooigewassen is het mogelijk dat het effect van de groenbemesters minder duidelijk is omdat de controles ook hoger blijven. De looptijd van de proef was 6 jaar, waarin viermaal een groenbemester is geteeld na de wintertarwe. Mogelijk zijn er op deze termijn nog geen effecten

aan te tonen van de groenbemesters. De groenbemesters worden pas na de winter ondergewerkt in de bodem. Hierdoor was de biomassa van de groenbemesters relatief groot. Iets anders wat de resultaten kan beïnvloeden is dat de onkruiddruk in de 'braak' behandeling vrij groot was waardoor er ook in deze behandeling groene en gevarieerde bedekking van de bodem was. Verder was er een beperkt aantal herhalingen (3). Mogelijk zorgen deze redenen ervoor dat het verschil tussen de behandelingen mét groenbemesters minder zichtbaar wordt.

Zoals in de methode omschreven liggen de twee rotaties (met extra veldboon en met extra mais) niet gewaard in de proef. Daarom kunnen verschillen tussen de rotaties niet worden toegeschreven aan een rotatie-effect.

## Meerjarige akkerranden

### *Omschrijving van de maatregel*

Meerjarige akkerranden: het inzetten van meerjarige onbemeste akkerranden in de vorm van kruid- en grasachtige langs sloten en/of wegen

### *Methode*

In theorie kunnen meerjarige akkerranden bijdragen aan het vastleggen van koolstof doordat de grasachtige en/of kruidenrijke vegetatie meerdere jaren de kans krijgt om te groeien zonder dat de grond wordt bewerkt. Hierbij is dus het meerjarige aspect van de akkerrand van belang, evenals het aantal jaren waarin de rand ligt. Om de bijdrage van meerjarige akkerranden in kaart te brengen zijn metingen uitgevoerd op praktijkpercelen en de bijbehorende akkerrand op Centrale klei (bedrijven - Flevoland) en Noordelijk zand (bedrijven - Drenthe).

De bedrijven zijn geselecteerd via de plaatselijke agrarische natuurverenigingen, respectievelijk het Flevolands Agrarisch Collectief (FAC) en de Agrarische Natuurvereniging Drenthe (AND). Bedrijven met relatief lang liggende meerjarige akkerranden zijn geselecteerd. Op Centrale klei zijn er 10 percelen en bijbehorende randen bemonsterd en voor Noordelijk zand zijn er acht percelen en bijbehorende randen bemonsterd. Hierbij dient het perceel als referentie voor de bijbehorende rand.

Tijdens een nauwkeurige controle van de percelen bleek dat er vijf percelen en bijbehorende akkerranden niet geschikt zijn voor analyse voor Noordelijk zand (bedrijven - Drenthe). Er vielen drie akkerranden af aangezien het geen meerjarige randen bleken te zijn doordat de rand tussentijds bouwland is geweest. Er vielen ook twee akkerrand-perceel paren af doordat er grasland op het referentieperceel stond, waardoor de vergelijking tussen meerjarige akkerrand en bouwlandperceel niet mogelijk was. Op Centrale klei (bedrijven - Flevoland) vielen drie percelen af. Een perceel doordat op de akkerrand tussentijds bouwland is geweest. De andere twee doordat het referentieperceel ofwel grasland was of een geschiedenis had met grasland in de rotatie.

De akkerranden op zand worden in ieder geval één keer per jaar geklepeld en er vindt geen bemesting plaats. De akkerranden op klei worden na half augustus gemaaid en het maaisel wordt, bij voorkeur, afgevoerd. Bij de akkerranden in beide grondsoorten is de kans klein dat er slootbagger of slootmaaisel op de rand is gekomen, omdat de randen onder het agrarisch natuurbeheer vallen. Kaartjes van de geselecteerde percelen zijn hieronder weergegeven.

Tabel B1.12 Overzicht van de aantallen praktijkpercelen met akkerranden en referentiepercelen.

Grondsoort	Behandeling	Aantal herhalingen	Aantal herhalingen voor data-analyse	Beschrijving
Centrale klei	Perceel	10	7	Akkerbouwperceel onder gangbaar beheer
	Akkerrand (meerjarig)	10	7	Kruidenrijke grasranden onder agrarisch natuurbeheer, met verschillende leeftijden (3-11 jr.)
Noordelijk Zand	Perceel	8	3	Akkerbouwperceel onder gangbaar beheer
	Akkerrand (meerjarig)	8	3	Kruidenrijke grasranden onder agrarisch natuurbeheer, met verschillende leeftijden (3-13 jr.)

### Resultaten

Om te onderzoeken of meerjarige akkerranden een effect hebben op het koolstofgehalte en de koolstofvoorraad van akkerbouwpercelen werd er in twee regio's een meting gedaan in akkerranden en in het direct aansluitende perceel. Op de Centrale kleigrond (Flevoland) leverde dit een significant hoger koolstofgehalte en een hogere koolstofvoorraad op in de bouwvoor van de akkerrand ( $p=0.02$ ) (Tabel B1.13). Dit duidt op een positieve koolstofvastlegging door de akkerrand ten opzichte van de rest van het perceel. Op de noordelijke zandgrond (Drenthe) is geen significant effect gevonden van de akkerrand op het koolstofgehalte en de koolstofvoorraad. In de ondergrond van de akkerranden op de centrale kleigrond was de koolstofvoorraad hoger dan het referentieperceel, en op de noordelijke zandgrond was dit niet het geval (Tabel B1.14).

### Korte discussie

Het beeld van de akkerranden in beide regio's is grasachtig. Bij méérjarige akkerranden nemen grassen vaak de overhand over bloemen en kruiden. Omdat grasland koolstof vastlegt, is hiervan dan ook te verwachten dat dit ook in de akkerranden kan gebeuren. Waarschijnlijk gebeurt dit wel in mindere mate dan op intensief beheerd grasland, waar intensief wordt bemest en gemaaid. We meten dit op de kleigrond, maar niet op zandgrond. Mogelijk is de variatie tussen de percelen en akkerranden in de Noordelijke zandregio te groot om een effect aan te kunnen tonen van de akkerrand, en het aantal percelen te weinig. Op zand zijn er überhaupt weinig meerjarige akkerranden die er meerjarig worden gehouden, voornamelijk vanwege de hoge onkruiddruk in dergelijke randen. Op Centrale klei bleek de variatie klein genoeg en het aantal percelen groot genoeg om een groot effect aan te tonen van de akkerranden. Verder is bekend dat organische stof meer stijgt op kleigrond dan op zandgrond doordat kleideeltjes organische stof goed kunnen binden.



Tabel B1.13 Meerjarige akkerranden (grasachtig), meting op praktijkpercelen op twee grondsoorten (Centrale klei en Noordelijk zand). Gemeten werd in de rand, en in het perceel waar de rand aan lag. Bouwvoor 0-30 cm. Verschillende letters geven significante verschillen weer tussen akkerrand en perceel per grondsoort.

Grondsoort	Behandeling	Aantal herhalingen	Leeftijden akkerranden (jaar)	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO <sub>2</sub> /ha/jr.)
Centrale klei	Perceel	7		1.5a	65.3a	
	Akkerrand (meerjarig)	7	4-13 (gem.=8,1)	1.8b	77.7b	5.6*
Noordelijk Zand	Perceel	3		2.6a	100.6a	
	Akkerrand (meerjarig)	3	3-13 (gem. 9)	2.6a	99.3a	ns

<sup>1</sup> Koolstofvoorraad en vastlegging worden uitgedrukt per hectare akkerrand. Er is nog niet gecorrigeerd voor het relatief kleine oppervlak van de akkerrand ten opzichte van het hele perceel (ha).

Tabel B1.14 Meerjarige akkerranden (grasachtig), meting op praktijkpercelen op twee grondsoorten. Gemeten werd in de rand, en in het perceel waar de rand aan lag. Ondergrond 30-60 cm. Verschillende letters geven significante verschillen weer tussen akkerrand en perceel per grondsoort.

Grondsoort	Behandeling	Aantal herhalingen	Leeftijd akkerrand (jaar)	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO <sub>2</sub> /ha/jr.)
Centrale klei	Perceel	7		1.2a	48.0a	
	Akkerrand (meerjarig)	7	4-13 (gem. 8.1)	1.4b	55.5b	2.6*
Noordelijk Zand	Perceel	3		0.9a	34.8a	
	Akkerrand (meerjarig)	3	3-13 (gem. 9)	0.7a	27.1a	ns

<sup>1</sup> Koolstofvoorraad en vastlegging worden uitgedrukt per hectare akkerrand. Er is nog niet gecorrigeerd voor het relatief kleine oppervlak van de akkerrand ten opzichte van het hele perceel (ha).

## Agroforestry akkerbouw op Centrale klei

### Omschrijving van de maatregel

Agroforestry: het telen van meerjarige houtige gewassen (vaak bomen) in een weide of als strook tussen akkergewassen

### Methode

Agroforestry in de akkerbouw is onderzocht door te kijken naar een strook bouwland naast een nieuw aangelegde bomenrij. Het bouwlandperceel kent een gewasrotatie met luzerne, spinazie, ui, tarwe en aardappelen. Er zijn metingen verricht in de bomenrij en op verschillende afstanden tot de bomenrij (0, 5, 10, 25, 50 en 75m) (transect). Het betreft nog een nulmeting, aangezien de aangeplante bomenrij nog maar twee jaar staat. De metingen op 50 en 75m afstand kunnen worden gezien als een controle omdat hier geen bladafval terecht komt. In Bijlage 2 staat een aanvullende kaart met de bemonsterpunten.

Tabel B1.15 Overzicht van de behandelingen en herhalingen in de proef over agroforestry in de akkerbouw (Lelystad – Centrale klei)

Behandeling	Aantal herhalingen	Beschrijving
Boomstrook	2	Transect van een strook naast een bomenrij
5m van boomrij	2	
10m van boomrij	2	
25 m van boomrij	2	
50 m van boomrij	2	
75 m van boomrij	2	

### Resultaten

Dit jaar is er een nulmeting verricht in een (op termijn) langjarige agroforestry proef op Centrale klei in Flevoland. Agroforestry is een verzamelnaam voor landbouwsystemen met meerjarige houtige gewassen. De bomen in het akkerbouwperceel in Flevoland staan er pas twee jaar, dus er zijn nog geen effecten te verwachten op bodemkoolstof. Er is op verschillende afstanden vanaf een bomenrij gemeten: in de bomenrij, en op 5, 10m, 25m, 50m en 75m afstand. Doordat het nog nulmetingen betreffen en doordat er maar twee herhalingen zijn is er nog geen statistiek verricht.

Tabel B1.16 Agroforestry op Centrale klei (Flevoland). Nulmeting in praktijkpercelen in stroken langs een nieuw aangeplante boomrij. Bouwvoor 0-30 cm.

Behandeling	Aantal herhalingen	Looptijd (jaar)	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO <sub>2</sub> /ha/jr.)
Boomrij	2	2	1.0	44.6	n.v.t.
5m van boomrij	2		1.0	44.6	
10m van boomrij	2		1.0	44.6	
25m van boomrij	2		1.1	46.8	
50m van boomrij	2		1.0	44.6	
75m van boomrij	2		1.1	46.8	

Tabel B1.17 Agroforestry op Centrale klei (Flevoland). Nulmeting in praktijkpercelen in stroken langs een nieuw aangeplante boomrij. Ondergrond 30-60 cm.

Behandeling	Aantal herhalingen	Looptijd (jaar)	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO <sub>2</sub> /ha/jr.)
Boomrij	2	2	0.7	30.0	n.v.t.
5m van boomrij	2		0.8	32.2	
10m van boomrij	2		0.8	32.2	
25m van boomrij	0				

50m van boomrij	0				
75m van boomrij	0				

## Kruidenrijk grasland op Centraal zand en Zuidelijk zand

### *Omschrijving van de maatregel*

Kruidenrijk grasland: het inzetten van productieve graskruidenmengsels in plaats van enkel Engels raaigras

### *Methode*

#### Kruidenrijk grasland op Centraal zand (bedrijven - Gelderland)

In voorgaande jaren zijn bemonsteringen verricht in praktijkproeven over kruidenrijk grasland. Dit jaar is er een groot aantal praktijkpercelen bemonsterd verspreid over Gelderland van agrariërs die bezig zijn met productief kruidenrijk grasland. Deze percelen zijn vergeleken met percelen met nabijgelegen percelen met Engels raaigras en extensief kruidenrijk grasland. De controle bestond uit percelen blijvend grasland met voornamelijk Engels raaigras. De percelen worden gekenmerkt door intensief gebruik met beweiding en/of maaien en bemesten met drijfmest en kunstmest.

Daarnaast zijn er productief kruidenrijke graslanden bemonsterd. Deze zijn in 2018, 2019 of 2020 ingezaaid en hadden zowel een verleden van maisland en van grasland. Het beheer is vergelijkbaar met Engels Raaigras (controle) maar er is geen kunstmest toegepast. De derde categorie zijn semi-natuurlijke percelen met een geschiedenis van kruidenrijk grasland en vallen onder ANLb pakketten. Deze extensieve kruidenrijke graslanden kennen een extensief beheer met een uitgestelde maaidatum van 1 of 15 juni. De eerste snede is gemaaid waarna er daarna beperkt is beweide of gemaaid.

*Tabel B1.18 Overzicht van de groepen percelen bemonsterd in Gelderland.*

Grondsoort	Beheer	Herhalingen	Beschrijving
Zand	Engels raaigras	12	Percelen met geschiedenis van blijvend Engels raaigras
	Productief kruidenrijk grasland	12	Percelen die 1-3 jaar geleden zijn ingezaaid met graskruidenmengsels
	Extensief kruidenrijk grasland	12	Semi-natuurlijke percelen met lange geschiedenis van kruidenrijk grasland

#### Kruidenrijk grasland op Zuidelijk zand (Kelpen Oler - Limburg)

Kruidenrijk grasland kan mogelijk bijdragen aan koolstofvastlegging door diepere beworteling van de diversiteit aan kruiden die het organische stofgehalte kan verhogen in diepere bodemlagen. In 2018 zijn in twee LTL's verkennende metingen uitgevoerd. Aangezien dat jaar de veldproeven net waren ingezaaid konden toen geen uitspraken worden gedaan over de effectiviteit van het verhogen van de diversiteit van grasland. In 2020 zijn beide LTL's opnieuw bemonsterd. In de proef op Zuidelijk zand (Limburg) is in dezelfde behandelingen gemeten als in 2018; Biodivers primair weidevogelmengsel (BPW), Biodivers functioneel weidevogelmengsel (BFW) en grasland (controle), allen met drijfmestbemesting. In het voorjaar van 2023 zijn opnieuw metingen in de proef op Zuidelijk zand verricht.



**Limburg:**

Behandeling	Herhalingen	Beschrijving
Extensief kruidenrijk grasland	4	Hoog percentage kruiden, hoge soortdiversiteit, drijfmest
Productief kruidenrijk grasland	4	Hoog percentage kruiden, lagere soortdiversiteit, hoog percentage vlinderbloemigen, drijfmest
Gras (B3)	4	Controle, drijfmest

*Resultaten*

Op centrale zandgrond in Gelderland zijn een groot aantal praktijkpercelen bemonsterd met verschillende typen grasland: Engels raaigras, productief kruidenrijk grasland en extensief kruidenrijk grasland. We zien in de metingen van koolstofgehalte en koolstofvoorraad geen significante verschillen tussen deze typen grasland, in zowel de bouwvoor (0-30 cm) (Tabel B1.19) als de ondergrond (30-60 cm) (Tabel B1.20).

De Kruidenproef Limburg is in het voorjaar van 2023 opnieuw bemonsterd. Dit is een herhaling van de meting in 2018 en 2020. In 2023 is er, net als in 2018 en 2020 geen effect gevonden op de voorraad bodemkoolstof.

*Korte discussie*

Het valt op dat er geen verschillen zijn gevonden tussen de graslandcategorieën op Centraal zand. De percelen met Engels raaigras hebben een langjarige geschiedenis van gras. Het productief kruidenrijk grasland is 1 tot 2 jaar voor meten ingezaaid op percelen met zowel een bouwland als grasland verleden. Bij de inzaai van het perceel is geploegd. De semi-natuurlijke extensieve kruidenrijke graslanden hebben allemaal een extensief beheer met een uitgestelde maaidatum volgens een ANLB-pakket. Na het maaien van de 1<sup>e</sup> snede wordt er nog beperkt geweid of gemaaid. De percelen worden niet bemest. De percelen blijvend grasland en productief kruidenrijk grasland krijgen bemesting in organische vorm. Hierdoor is er een regelmatige aanvoer van koolstof die de extensieve kruidenrijke graslanden niet krijgen. Extensieve kruidenrijke graslanden hebben over het algemeen meer kruiden en minder verstoring waardoor de hoeveelheid koolstof hoger zou kunnen zijn, maar door lagere bemesting kan koolstof juist lager zijn.

Dit betekent dat de koolstofvastlegging op percelen met productief kruidenrijk grasland vanwege de recente herinzaai en verschillende (historische) bemesting moeilijk te vergelijken is met Engels raaigras en extensief kruidenrijk grasland. Mogelijk zijn er nog geen effecten waar te nemen na ongeveer 2-3 jaar en is er een langere looptijd nodig. Echter is in de praktijk de levensduur van productief kruidenrijk grasland vaak niet meer dan 5 jaar. Dit komt doordat productief kruidenrijk grasland pas sinds enkele jaren breed in de praktijk wordt toegepast en het beheer van graskruiden nog volop in ontwikkeling is. Op dit moment lijkt het dat de samenstelling van graskruidenpercelen na 4-5 jaar beweegt naar een hoog aandeel gras waarin slechts een beperkt aantal van de ingezaaide soorten kruiden zijn overgebleven.

Op Zuidelijke zandgrond (Kelpen-Oler – Limburg) was de looptijd van de veldproef 5 jaar tijdens de bemonstering in het voorjaar van 2023. De variatie tussen de plots is kleiner in deze veldproef van de bij vergelijking van praktijkpercelen op Centraal zand. Echter zien we ook hier geen effect van graskruidenmengsels. De veldproef is na bemonstering in het voorjaar van 2023 opgeruimd; dus dat was de laatste kans om de proef te bemonsteren.

Tabel B1.19 Kruidenrijk grasland, Centraal zand (bedrijven - Gelderland) en Zuidelijk zand (Kelpen-Oler - Limburg). Meting op praktijkpercelen met Engels raaigras, productief kruidenrijk grasland en extensief kruidenrijk grasland op Centraal zand. Meting op een veldproef met Engels raaigras, en twee typen graskruidentmengsels op Zuidelijk zand. Bouwvoor 0-30 cm.

Grondsoort	Behandeling	Aantal	Leeftijd (na herinzaai)	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO <sub>2</sub> /ha/jr.)
Centraal zand	Engels raaigras	11	continu	2.2	96.2	
	Productief kruidenrijk grasland	12	2-3 jaar	2.3	96.2	ns
	Extensief kruidenrijk grasland	12	continu	2.1	90.0	ns
Zuidelijk zand	Engels raaigras	4	5	1.9	80	
	Productief kruidenrijk grasland	4	5	1.8	78	ns
	Extensief kruidenrijk grasland	4	5	1.8	78	ns

Tabel B1.20 Kruidenrijk grasland, Centraal zand (bedrijven - Gelderland) en Zuidelijk zand (Kelpen-Oler - Limburg). Meting op praktijkpercelen met Engels raaigras, productief kruidenrijk grasland en extensief kruidenrijk grasland op Centraal zand. Meting op een veldproef met Engels raaigras, en twee typen graskruidentmengsels op Zuidelijk zand. Ondergrond 30-60 cm.

Grondsoort	Behandeling	Aantal	Leeftijd (na herinzaai)	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO <sub>2</sub> /ha/jr.)
Centraal zand	Engels raaigras	12	continu	1.3	57.6	
	Productief kruidenrijk grasland	12	2-3 jaar	1.2	54.3	ns
	Extensief kruidenrijk grasland	12	continu	0.9	42.8	ns
Zuidelijk zand	Engels raaigras	4	5	0.8	39.4	
	Productief kruidenrijk grasland	4	5	0.8	39.4	ns
	Extensief kruidenrijk grasland	4	5	0.7	35.2	ns

## Agroforestry Veehouderij op Zuidelijk zand

### Omschrijving van de maatregel

Agroforestry: het telen van meerjarige houtige gewassen (vaak bomen) in een weide of als strook tussen akkergewassen

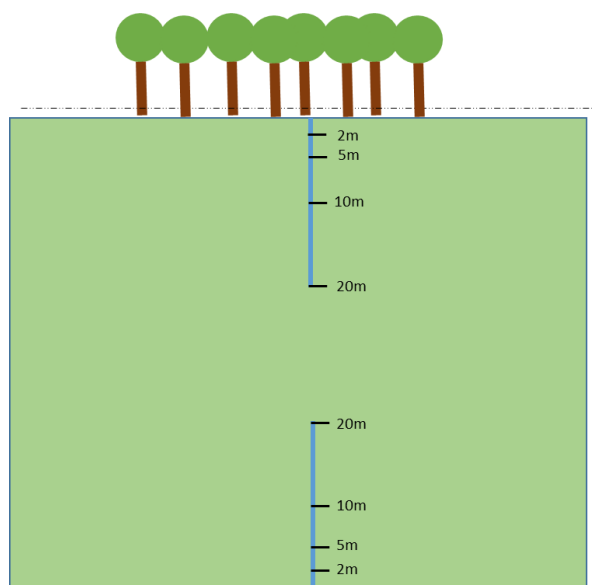
### Methode

Agroforestry is ook bekeken binnen de veehouderij, op een vergelijkbare manier als in de akkerbouw, zoals hierboven beschreven. Het verschil is dat er voor de veehouderij niet is gemeten in een bestaand agroforestry perceel. Aanplant van bomen op grasland wordt de laatste jaren toegepast, maar deze bomen zijn nog jong, waardoor er weinig effect is te verwachten. De metingen hebben daarom plaatsgevonden in graslandpercelen die aan één zijde werd

begrensd door een volwassen houtwal. Een volwassen houtwal heeft de opgaande structuur van lijnvormige beplantingen zoals die nu worden geplant onder de noemer agroforestry. Door langs de bestaande houtwal te meten hebben we een indicatie van wat de jonge agroforestrysystemen op grasland in de toekomst op kunnen leveren aan ondergrondse koolstofvastlegging. Op elk perceel is in twee transecten bemonsterd van de rand richting het midden van het perceel, telkens gemeten van een rand met bomen en een rand zonder bomen (Figuur B1.1). Een graslandperceel zonder bomenrij is vergeleken met een strook langs een bomenrij aan de rand van een graslandperceel. Er is, naast de metingen in de rij, op 5m en 10m van de bomenrij zoals bij de agroforestry maatregel in de akkerbouw, ook gemeten op 2m en 20m van de bomenrij om een breder beeld te krijgen van de reikwijdte van het effect van de boomstrook. Deze opzet van deze bemonstering is gebaseerd op de studie van Pardon et al. (2017) in België.

Tabel B1.21. Overzicht van de behandelingen en het aantal bemonsterde praktijkpercelen om de maatregel agroforestry in de veehouderij te evalueren.

	Behandeling	Aantal herhalingen	Beschrijving
Afstand tot controle-rij	Controle	4	Transect van een strook aan de rand van een perceel, zonder bomenrij
	2m van controlerij	4	
	5m van controlerij	4	
	10m van controlerij	4	
	20m van controlerij	4	
Afstand tot bomenrij	Bomenrij	4	Transect van een strook aan de rand van een perceel, met bomenrij
	2m van bomenrij	4	
	5m van bomenrij	4	
	10m van bomenrij	4	
	20m van bomenrij	4	



Figuur B1.1 Schematische weergave van de transecten bij een bomenstrook en de controlestrook.

### Resultaten

De resultaten van de bouwvoor (0-30cm) laten zien dat de graslandstrook met bomenrij geen significant hoger gehalte bodemkoolstof heeft dan de controlestrook zonder bomenrij (Tabel B1.22). Er is echter wel een trend van een gemiddeld hogere bodemkoolstofvoorraad in de stroken langs een bomenrij ( $P=0.06$ ). Uit de metingen blijkt ook dat de variatie in de koolstofgehalten in de bodem bij een houtwal hoger zijn dan in de bodem zonder bomenrij. Het is niet precies bekend hoe oud de bomen zijn in de houtwal aan de rand van het graslandperceel. We hebben een voorzichtige inschatting gemaakt, met een periode van 40 jaar voor het ontstaan van de verschillen in de bemonsterde stroken. In de ondergrond (30-60cm) zijn ook geen significante verschillen gevonden tussen de bomenstrook en de controlestrook (Tabel B1.23.)

### Korte discussie

Dit jaar is voor het eerst gekeken naar de Agroforestry maatregel voor koolstofvastlegging in de bodem, zowel voor de akkerbouw (zie nulmeting hierboven) als voor de veehouderij. Om een beeld te krijgen van de potentie van koolstofvastlegging in de bodem door agroforestry in de veehouderij is naast volwassen houtwallen gemeten. Hierbij is eenzelfde aanpak gevolgd als een studie in België van Pardon et al. (2017), maar een belangrijk verschil is dat de Belgische studie naar bouwland keek en deze metingen grasland betrof. In grasland is van nature een hogere koolstofvoorraad te verwachten dan in bouwland. Vandaar dat effecten van een bomenrij mogelijk minder zijn in grasland dan in bouwland, bovendien kan schaduw van de bomen ervoor zorgen dat gras minder goed groeit. We zien in de metingen echter geen significant verschil tussen transecten met en zonder bomenrij, maar wel een trend. Vooral in de bomenrij zelf waren de koolstofgehalten hoger. Er was wel veel variatie tussen de verschillende metingen en de locaties; bij één locatie was het koolstofgehalte in de bodem juist hoger in de strook zonder bomen. Het effect van agroforestry kan dan ook erg afhangen van de locatie en bijvoorbeeld de beginhoeveelheid koolstof in de bodem.

*Tabel B1.22 Agroforestry op Zuidoostelijk zand (bedrijven - Brabant). Gemeten werd in praktijkpercelen in stroken vanaf een bomenrij en in controlestroken zonder bomenrij. Bouwvoor 0-30 cm. Alleen het significante verschil tussen het gemiddelde van de strook naast de bomenrij en de controle rij is weergegeven. Dit aangezien alle metingen op alle afstanden zijn meegenomen in de analyse van het verschil.*

	Behandeling	Aantal herhalingen	Looptijd (jaar)	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha) <sup>1</sup>	Vastlegging (ton CO <sub>2</sub> /ha/jr.) <sup>1</sup>
Afstand tot controlestrook	Controle	4		1.5	58.5	
	2m van controlerij	4		1.4	61.1	
	5m van controlerij	4		1.4	60.1	
	10m van controlerij	4		1.3	56.6	
	20m van controlerij	4		1.4	61.3	
Afstand tot bomenrij	bomenrij	4		2.2	88.8	
	2m van bomenrij	4		1.6	69.7	
	5m van bomenrij	4		1.7	73.2	
	10m van bomenrij	4		1.6	67.3	



	Behandeling	Aantal herhalingen	Looptijd (jaar)	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha) <sup>1</sup>	Vastlegging (ton CO <sub>2</sub> /ha/jr.) <sup>1</sup>
	20m van bomenrij	4		1.6	66.6	
Gemiddelde	Strook van 20m langs de controlerij (zonder bomenrij)	20		1.4a	59.5	
	Strook langs de bomenrij	20	~30	1.7a	73.1	ns (P=0.06)

<sup>1</sup> Koolstofvoorraad en vastlegging worden uitgedrukt per hectare bomenstrook. Er is nog niet gecorrigeerd voor het relatief kleine oppervlak van de boomstrook ten opzichte van het hele perceel (ha). De koolstofvoorraad is log-getransformeerd voordat de statistische analyse plaatsvond.

Tabel B1.23 Agroforestry op Zuidoostelijk zand (bedrijven Brabant). Gemeten werd in praktijkpercelen in stroken naast een bomenrij en in controlestroken zonder bomenrij. Ondergrond 30-60 cm. Alleen het significante verschil tussen het gemiddelde van de strook naast de bomenrij en de controle rij is weergegeven. Dit aangezien alle metingen op alle afstanden zijn meegenomen in de analyse van het verschil.

	Behandeling	Aantal herhalingen	Looptijd (jaar)	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha) <sup>1</sup>	Vastlegging (ton CO <sub>2</sub> /ha/jr.) <sup>1</sup>
Afstand tot controle-strook	0m controle	4		0.8	36.7	
	2m van controlerij	4		0.6	29.3	
	5m van controlerij	4		0.6	27.5	
	10m van controlerij	4		0.8	38.2	
	20m van controlerij	4		0.5	24.1	
Afstand tot bomenrij	bomenrij	4		1.0	39.7	
	2m van bomenrij	4		0.5	23.6	
	5m van bomenrij	4		0.5	22.4	
	10m van bomenrij	4		0.7	35.1	
	20m van bomenrij	4		0.5	23.4	
Gemiddelde	Controle (zonder boomstrook)	20		0.7a	31.2a	
	Met boomstrook	20	40	0.6a	28.8a	ns

<sup>1</sup> Koolstofvoorraad en vastlegging worden uitgedrukt per hectare bomenstrook. Er is nog niet gecorrigeerd voor het relatief kleine oppervlak van de boomstrook ten opzichte van het hele perceel (ha).

## Vanggewassen bij maisteelt op Centrale klei (Lelystad - Flevoland)

### Methode

Doel van de proef is om te kijken of de opbrengst op peil kan worden gehouden en tegelijkertijd de bodemkwaliteit verbeterd kan worden met eerdergenoemde maatregelen. Voor meer informatie zie Riemens et al. (2017). De proef ligt er sinds 2009. Daarvoor was het grasland. De proef is in het voorjaar van 2022 bemonsterd, daarna is de proef beëindigd. In deze proef met

als hoofdgewas mais worden verschillende vanggewassen (rogge, gras en rogge met wintererwt) vergeleken met een controle zonder vanggewas. Bij de behandeling met rogge en wintererwt wordt chemische onkruidbestrijding toegepast en bij de andere behandelingen mechanische onkruidbestrijding tijdens de maisteelt. In de braakbehandeling werd het onkruid niet bestrijdt, waardoor ook hier groene biomassa kon ontwikkelen. Na de maisoogst werden elk jaar vanggewassen ingezaaid, dit gebeurde altijd tussen 18 september en 29 oktober. De vanggewassen groeide dan ongeveer tot eind april, wanneer de hoofdgrondbewerking plaatsvond. Verder wordt gangbare grondbewerking, zoals ploegen of spitten, vergeleken met een aantal varianten met gereduceerde grondbewerking (niet kerende grondbewerking (NKG) met woelen en direct aai zonder grondbewerking). Er werd standaard bemest met kunstmest; daarbij gaat het om 500 kg KAS, 120 kg superfosfaat, 100 kg Kali-60. Incidenteel werd er ook drijfmest toegepast. In 2019 is deze proef ook bemonsterd om de maatregelen NKG in maisteelt te evalueren.

Grondbewerking	Vanggewas	Aantal herhalingen	Looptijd (jaar)
Ploegen	Geen	3	14
	Rogge	3	
	Gras	3	
	Rogge en Wintererwt	3	
NKG/woelen	Geen	3	
	Rogge	3	
	Gras	3	
	Rogge en Wintererwt	3	
Geen (direct aai)	Geen	3	
	Rogge	3	
	Gras	3	
	Rogge en Wintererwt	3	

### Resultaten

In de buurt van Lelystad is de proef Duurzame Maisteelt Flevoland bemonsterd in 2021. Hier wordt een vergelijking gemaakt van verschillende typen grondbewerking en vanggewassen. De proef is geanalyseerd op beide effecten, maar er bleek geen interactie te zijn tussen type grondbewerking en vanggewassen. Daarom zijn de resultaten apart weergegeven in deze paragraaf voor vanggewassen en de volgende paragraaf over grondbewerking.

Er is geen verschil gevonden in de koolstofvoorraad in de behandelingen met vanggewassen ten opzichte van geen vanggewas in de winter (Tabel B1.24 en Tabel B1.25)

### Discussie

Mogelijk hebben de vanggewassen onvoldoende biomassa gehad om een lange-termijn bijdrage te leveren aan de bodemkoolstofvoorraad ten opzichte van braak in de winter. Mogelijk speelt hierbij mee dat de braak behandeling ook groene onkruidbiomassa ontwikkelde, waardoor het contrast met de ingezaaide vanggewassen klein was. In twee andere veldproeven over de inzet van groenbemesters in Wageningen en in Asendorf (Duitsland) is ook geen effect gevonden bij een looptijd van ongeveer 6 jaar. De looptijd van de proef in Lelystad is aanmerkelijk langer, echter is ook hier geen effect op koolstof.

Tabel B1.24 Vanggewassen bij maisteelt op Centrale klei (Lelystad - Flevoland). Bouwvoor 0-30 cm. ns = niet significant.

Vanggewas	Aantal herhalingen	Looptijd (jaar)	C-element air (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO <sub>2</sub> /ha/jr.)
Geen	9	14	1.6	62	
Rogge	9		1.5	60	ns
Gras	9		1.6	65	ns
Rogge en Wintererwt	9		1.6	63	ns

Tabel B1.25 Vanggewassen bij maisteelt op Centrale klei (Lelystad - Flevoland). Ondergrond 30-60 cm. ns = niet significant.

Vanggewas	Aantal herhalingen	Looptijd (jaar)	C-element air (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO <sub>2</sub> /ha/jr.)
Geen	9	14	0.8	32	
Rogge	9		0.8	34	ns
Gras	9		0.8	33	ns
Rogge en Wintererwt	9		0.8	33	ns

## NKG-maisteelt bij maisteelt op Centrale klei (Lelystad - Flevoland)

### Resultaten

In dezelfde proef (Duurzame Maisteelt Flevoland) als hierboven besproken (0) liggen zowel behandelingen met verschillende vanggewassen als verschillende typen grondbewerking. In de bovengrond is er een significant effect gevonden van grondbewerking op het percentage C-elementair (Tabel B1.26). Daarbij is het percentage koolstof hoger in de behandelingen met niet-kerende grondbewerking (woelen) en direct aai ten opzichte van ploegen. Dit resulteerde ook in een hogere koolstofvoorraad, tot wel 10 ton C/ha verschil. Wanneer we dit verschil omrekenen naar een relatieve koolstofvastlegging met behulp van de looptijd van de veldproef komen we om een vastlegging van 2.2 tot 2.6 ton CO<sub>2</sub>/ha/jr. In de ondergrond is er geen verschil gevonden (Tabel B1.27).

### Discussie

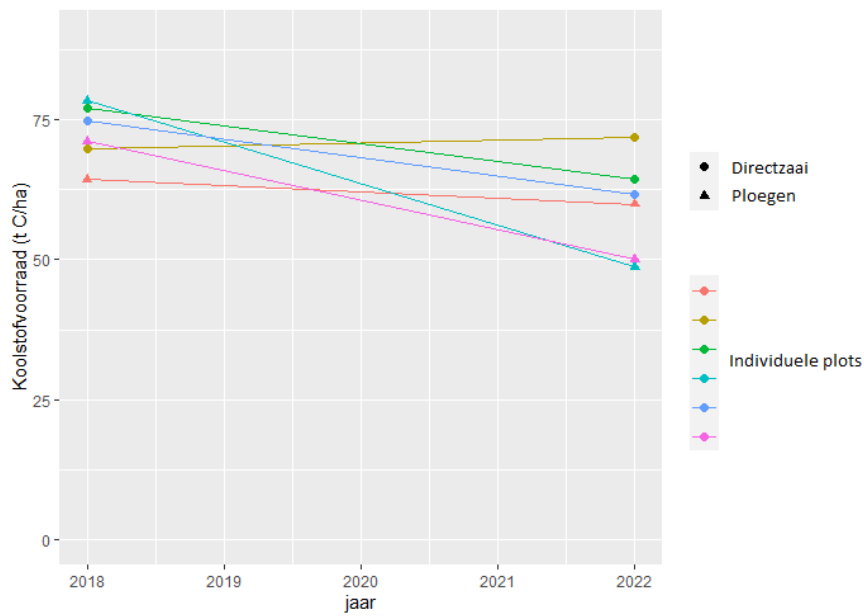
De proef Duurzame Maisteelt Flevoland is in 2009 aangelegd. Daarvoor was het grasland. Er is sindsdien elk jaar mais geteeld. In 2014 was het organische stofgehalte rond de 4.5% in de behandelingen met ploegen en rond de 4.9% in de behandelingen met direct aai en NKG (Riemens et al., 2015). Nu is het gemiddeld 2.9% bij ploegen, en 3.2 en 3.4% bij respectievelijk NKG en direct aai. Dit duidt erop dat het organische stofgehalte is gedaald (zie ook Figuur 8). Niet-kerende grondbewerking en direct aai hebben daarbij bijgedragen aan het behoud van organische stof, maar ook hier heeft er een daling plaatsgevonden.

Tabel B1.26. Niet-kerende grondbewerking bij maisteelt op Centrale klei (Lelystad - Flevoland). Bouwvoor 0-30 cm. Verschillende letters geven significante verschillen weer per behandeling.

Vanggewas	Aantal herhalingen	Looptijd (jaar)	C-element air (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO <sub>2</sub> /ha/jr.)
Ploegen	9	14	1.4	57a	
NKG/woelen	9		1.6	65b	2.2
Directzaai	9		1.7	67b	2.6

Tabel B1.27 Niet-kerende grondbewerking bij maisteelt op Centrale klei (Lelystad - Flevoland). Ondergrond 30-60 cm. Verschillende letters geven significante verschillen weer per behandeling.

Vanggewas	Aantal herhalingen	Looptijd (jaar)	C-element air (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO <sub>2</sub> /ha/jr.)
Ploegen	9	14	0.8	34	
NKG/woelen	9		0.8	33	ns
Directzaai	9		0.9	33	ns



*Figuur 8. Grafiek van de trend in de plots welke in 2018 en 2022 zijn gemeten. Elke kleur geeft een andere plot aan. De punten met een rondje zijn plots met Directzaai, de punten met een driehoekje zijn driehoekjes. De plots waarin is geploegd laten een negatieve trend zien.*

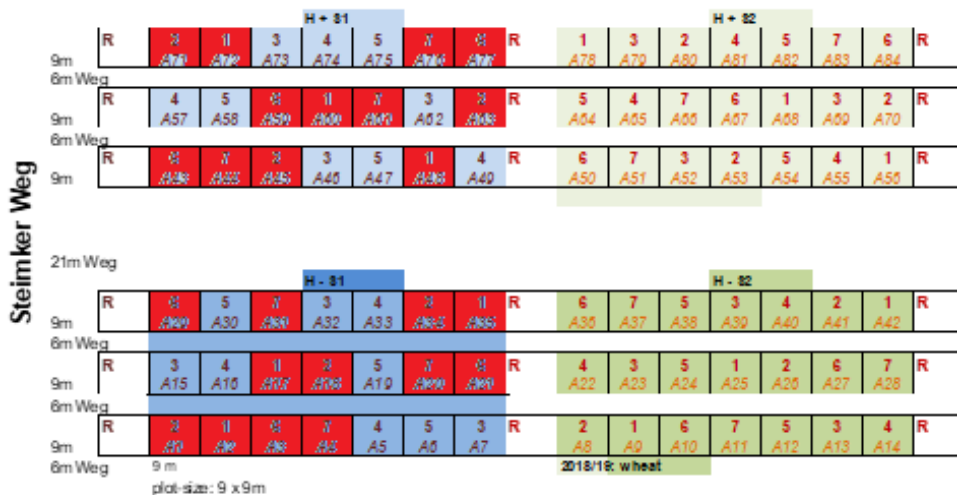
# Bijlage 2: Aanvullende informatie metingen 2021 en 2022

## Groenbemesters op Duitse löss (Nedersaksen - Asendorf)

Asendorf F CATCHY 2015 - 2024

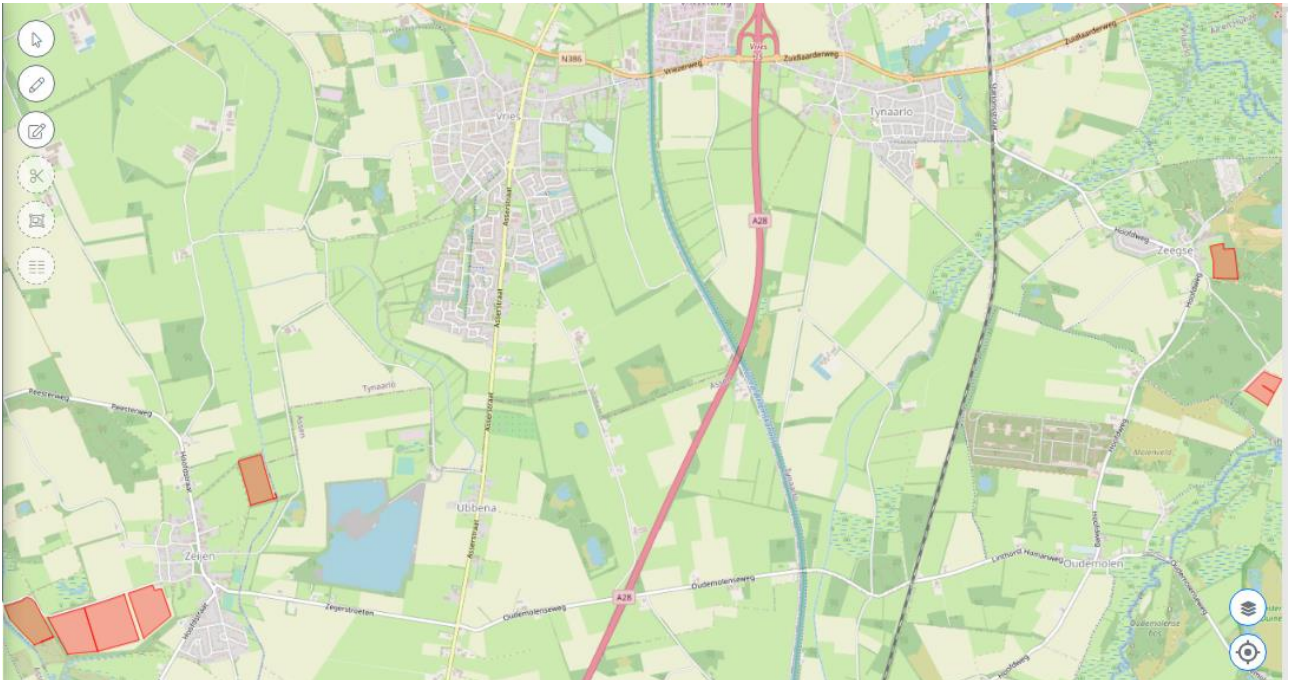
H + 81 humus accumulating starting point 1  
H - 81 humus degrading starting point 1

H + 82 humus accumulating starting point 2  
H - 82 humus degrading starting point 2



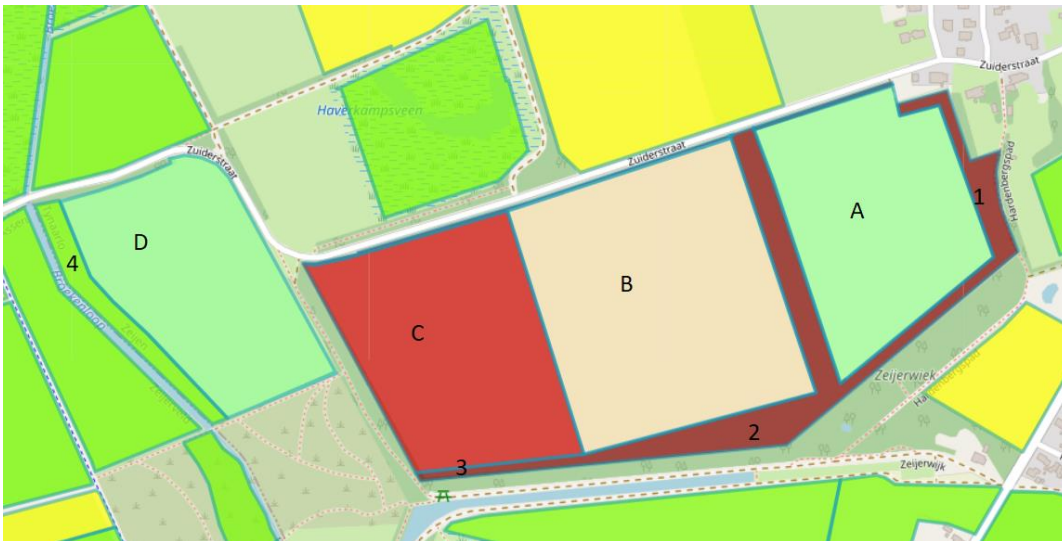
behandeling	veldnummer
rotatie humus accumulating; braak	A72
rotatie humus accumulating; braak	A60
rotatie humus accumulating; braak	A48
rotatie humus accumulating; gele mosterd	A71
rotatie humus accumulating; gele mosterd	A63
rotatie humus accumulating; gele mosterd	A45
rotatie humus accumulating; mix 4 soorten	A77
rotatie humus accumulating; mix 4 soorten	A50
rotatie humus accumulating; mix 4 soorten	A43
rotatie humus accumulating; mix 12 soorten	A76
rotatie humus accumulating; mix 12 soorten	A61
rotatie humus accumulating; mix 12 soorten	A44
rotatie humus degrading; braak	A35
rotatie humus degrading; braak	A17
rotatie humus degrading; braak	A2
rotatie humus degrading; gele mosterd	A34
rotatie humus degrading; gele mosterd	A18
rotatie humus degrading; gele mosterd	A1
rotatie humus degrading; mix 4 soorten	A29
rotatie humus degrading; mix 4 soorten	A21
rotatie humus degrading; mix 4 soorten	A3
rotatie humus degrading; mix 12 soorten	A31
rotatie humus degrading; mix 12 soorten	A20
rotatie humus degrading; mix 12 soorten	A4

Meerjarige akkerranden op Centrale klei (bedrijven - Flevoland) en Noordelijk zand (bedrijven - Drenthe)



Kaartje van de percelen die zijn geselecteerd in Drenthe, vlak bij het plaatsje Vries in Drenthe, waarbij metingen zijn gedaan in acht akkerranden en het aangelegen (referentie-) perceel.

De letters in de onderstaande figuren geven de percelen aan en de cijfers geven de akkerranden in Drenthe aan.





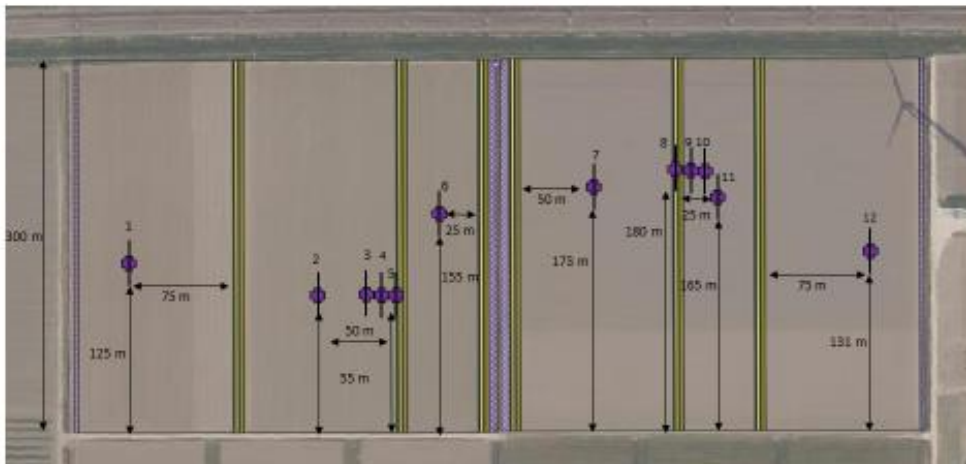
Agroforestry op Centrale klei (Lelystad - Flevoland)

—●— Transect bodem monsters (3m lengte parallel aan bodemrij)

**Agroforestry Lelystad**

6 behandelingen (2 herhalingen)

- Boom strook
- Akkerbouw strook 5 m van rand
- Akkerbouw strook 10 m van rand
- Akkerbouw strook 25 m van rand
- Akkerbouw strook 50 m van rand
- Akkerbouw strook 75 m van rand



Veldnummer	Behandeling
1	75m
2	50m
3	10m
4	5m
5	0m
6	25m
7	50m
8	0m
9	5m
10	10m
11	25m
12	75m

**Vanggewassen en NKG in maisteelt op Centrale klei (Lelystad - Flevoland)**

Hieronder staat informatie over welke veldjes zijn bemonsterd.

nr strook ->	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
code strk ->	B	A	D	F	E	C	F	E	A	B	C	D	E	C	F	D	B	A	
← N	10 B7 Gras	20 Gras	30 Gras F8 Gras	40 F8 Gras	50 Gras	60 M1 - III	70 F9 Gras	80 M1 - III	90 Gras	100 B2	110 M1 - III	120 M1 - IV	130 Gras	140 M1 - II	150 F7 Gras	160 M1 - V	170 B10	180 M1 - V	
	9 B8 Gras	19 Gras	29 Gras F9 Gras	39 F9 Gras	49 Gras	59 M1 - V	69 F8 Gras	79 M1 - I	89 Gras	99 B4	109 M1 - IV	119 M1 - I	129 Gras	139 M1 - I	149 F4 Gras	159 M1 - I	169 B9	179 M1 - I	
	8 B6 Gras	18 Gras	28 Gras F10 Gras	38 F10 Gras	48 Gras	58 M1 - IV	68 F10 Gras	78 M1 - IV	88 Gras	98 B1	108 M1 - II	118 M1 - III	128 Gras	138 M1 - III	148 F5 Gras	158 M1 - III	168 B7	178 M1 - II	
	7 B9 Gras	17 Gras	27 Gras F7 Gras	37 F7 Gras	47 Gras	57 M1 - II	67 F2 Gras	77 M1 - V	87 Gras	97 B5	107 M1 - I	117 M1 - V	127 Gras	137 M1 - V	147 F6 Gras	157 M1 - II	167 B6	177 M1 - IV	
	6 B10 Gras	16 Gras	26 Gras F4 Gras	36 F4 Gras	46 Gras	56 M1 - I	66 F3 Gras	76 M1 - II	86 Gras	96 B3	106 M1 - V	116 M1 - II	126 Gras	136 M1 - IV	146 F1 Gras	156 M1 - IV	166 B8	176 M1 - III	
	5 B3	15 M1 - II	25 M1 - IV F5 Gras	35 F5 Gras	45 M1 - III	55 Gras	65 F1 Gras	75 Gras	85 M1 - IV B9	95 Gras	105 Gras	115 Gras	125 M1 - IV	135 Gras	145 F2 Gras	155 Gras	165 B5	175 Gras	
	4 B5	14 M1 - V	24 M1 - V F6 Gras	34 F6 Gras	44 M1 - I	54 Gras	64 F7 Gras	74 Gras	84 M1 - V B6	94 Gras	104 Gras	114 Gras	124 M1 - I	134 Gras	144 F3 Gras	154 Gras	164 B1	174 Gras	
	3 B4	13 M1 - III	23 M1 - II F2 Gras	33 F2 Gras	43 M1 - II	53 Gras	63 F5 Gras	73 Gras	83 M1 - II B8	93 Gras	103 Gras	113 Gras	123 M1 - V	133 Gras	143 F9 Gras	153 Gras	163 B3	173 Gras	
	2 B1	12 M1 - IV	22 M1 - III F1 Gras	32 F1 Gras	42 M1 - IV	52 Gras	62 F6 Gras	72 Gras	82 M1 - I B10	92 Gras	102 Gras	112 Gras	122 M1 - III	132 Gras	142 F8 Gras	152 Gras	162 B2	172 Gras	
sluot	1 B2	11 M1 - I	21 M1 - I F3 Gras	31 F3 Gras	41 M1 - V	51 Gras	61 F4 Gras	71 Gras	81 M1 - III B7	91 Gras	101 Gras	111 Gras	121 M1 - II	131 Gras	141 F10 Gras	151 Gras	161 B4	171 Gras	
7m	3	4,5	4,5	3	4,5	4,5	3	4,5	4,5	3	4,5	4,5	3	4,5	4,5	3	4,5	4,5	3
sluot																			

1 M1 I	Standaardmaïs	geen vanggewas	-	chemisch	A	Ploegen normaal voorjaar (25 cm)
2 M1 II	Standaardmaïs	geen vanggewas	-	mechanisch	C	Woelen met Evers Garon (30 cm)
3 M1 III	Standaardmaïs	rogge	doodspuiten	chemisch	B	Strokenzaai (Pol)
4 M1 IV	Standaardmaïs	groenonderzaai	doodspuiten	chemisch	E	Geen (directzaai, Evers Hunter)
5 M1 V	Standaardmaïs	rogge-wintererwt	doodspuiten	mechanisch, experimenteel	M1	Standaardmaïs

Veld-nummer	Grond-bewerking	Vanggewas	Veld-nummer	Grond-bewerking	Vanggewas
11	ploegen	Geen vanggewas	12	ploegen	Gras
82	ploegen	Geen vanggewas	85	ploegen	Gras
179	ploegen	Geen vanggewas	177	ploegen	Gras
56	nkg	Geen vanggewas	58	nkg	Gras
107	nkg	Geen vanggewas	109	nkg	Gras
139	nkg	Geen vanggewas	136	nkg	Gras
44	geen	Geen vanggewas	42	geen	Gras
79	geen	Geen vanggewas	78	geen	Gras
124	geen	Geen vanggewas	125	geen	Gras
13	ploegen	Rogge	14	ploegen	Rogge en wintererwt
81	ploegen	Rogge	84	ploegen	Rogge en wintererwt
176	ploegen	Rogge	180	ploegen	Rogge en wintererwt
60	nkg	Rogge	59	nkg	Rogge en wintererwt
110	nkg	Rogge	106	nkg	Rogge en wintererwt
138	nkg	Rogge	137	nkg	Rogge en wintererwt
45	geen	Rogge	41	geen	Rogge en wintererwt
80	geen	Rogge	77	geen	Rogge en wintererwt
122	geen	Rogge	123	geen	Rogge en wintererwt

# Bijlage 3: Roth-C modellering LTL-groenbemesters (Asendorf - Duitsland)

## Introductie

Binnen Slim Landgebruik wordt het effect van maatregelen op koolstofvastlegging bepaald door middel van lange termijn locaties en met behulp van modelberekeningen met het model RothC. Het RothC model is gekalibreerd op lange termijn veldproeven gelegen in Rothamsted (Coleman & Jenkinson, 1996).

Uit de modelberekeningen op Nationaal niveau van Lesschen et al. (2021) blijkt dat de potentie voor koolstofvastlegging in Nederland met behulp van extra inzet van groenbemesters groot is. Er zijn ook metingen gedaan in veldproeven over groenbemesters. In 2020 is er gemeten in de veldproef in Wageningen, in 2021 is er gemeten in een veldproef in Asendorf (Duitsland) (Bijlage 1, paragraaf Groenbemesters), en in 2022 is er gemeten in een veldproef over vanggewassen in de maisteelt in Lelystad (Bijlage 1, paragraaf Vanggewassen bij maisteelt op Centrale klei (Lelystad – Flevoland)). De metingen in deze veldproeven laten geen significante toename zien in de koolstofvoorraad als gevolg van de groenbemesters. Mogelijk is de aanvoer van organische stof gedurende de looptijd van deze veldproeven (tussen de 6 en 14 jaar) niet voldoende om de koolstofvoorraad te vergoten. Er is dus een verschil in de modelresultaten op Nationaal niveau en de metingen.

Om te kijken in hoeverre de modelresultaten overeenkomen met de metingen in een veldproef over groenbemesters zijn meetresultaten van de veldproef over groenbemesters in Asendorf doorgerekend met het model RothC. Doordat de ruimtelijke heterogeniteit van de bodem is het zeer aannemelijk dat de vastlegging verschilt onder verschillende bodemtypes in Nederland. Daarnaast is ook het management van invloed op de aanvoer van organische stof en dus de koolstofvastlegging. Daarom is er gevarieerd met inputgegevens zoals bodemtype en management.

Om het bereik van de maatregel groenbemesters onder verschillende bodemtypen en managementkeuzes te bepalen is ervoor gekozen om een veldproef die 7 jaar loopt en waarin metingen naar o.a. bodemkoolstof zijn uitgevoerd, door te rekenen met de praktijktool BodemCoolstof, waarin het model RothC zit geïntegreerd. Het gaat om de veldproef in Asendorf (Duitsland) welke in 2021 is bemonsterd. In Tabel B3.1 staan de resultaten van deze proef voor de 0-30cm bodemlaag.

Tabel B3.1 Groenbemesters op Duitse löss (Nedersaksen – Asendorf). Bouwvoor 0-30 cm. Verschillende letters geven significante verschillen weer tussen de groenbemesterbehandelingen per rotatie. Zie ook Bijlage 2 (Paragraaf Groenbemesters)

Rotatie	Behandeling	Aantal herhalingen	Looptijd (jaar)	C-elementair (%)	Koolstof voorraad (ton C/ha)	Vastlegging (ton CO <sub>2</sub> /ha/jr.)
Rotatie met veldboon	Zwarte braak	3	6	1.4a	53a	
	Gele mosterd	3	6	1.5a	55a	ns
	Mix van 4 soorten	3	6	1.4a	54a	ns
	Mix van 12 soorten	3	6	1.5a	55a	ns
Rotatie met extra mais i.p.v. veldboon	Zwarte braak	3	6	1.7a	68a	
	Gele mosterd	3	6	1.8a	70a	ns
	Mix van 4 soorten	3	6	1.8a	70a	ns
	Mix van 12 soorten	3	6	1.7a	66a	ns

Eerst is er gekeken naar de overeenstemming tussen de gemeten waarden en de gemodelleerde waarden om te bepalen of de veldgegevens als onderlegger kunnen dienen voor de modelberekeningen, om deze vervolgens voor een range aan bodemtypes en managementkeuzes door te rekenen.

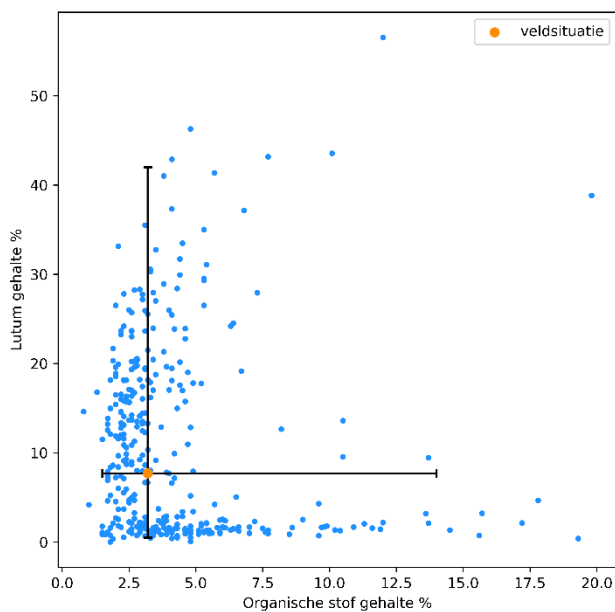
## Methode

De groenbemesterproef die voor deze studie als uitgangssituatie is gebruikt ligt in Nedersaksen, Duitsland, op zand en bestaat uit 83 verschillende veldjes met 1 controlesituatie en 6 situaties met verschillende groenbemesters. Hierbinnen is ook gevarieerd met 2 verschillende bouwplannen: een rotatie met tarwe (met daar achteraan verschillende groenbemesterbehandelingen) en mais, en een rotatie met tarwe (met daar achteraan verschillende groenbemesterbehandelingen), veldbonen, tarwe (met daar achteraan verschillende groenbemesterbehandelingen) en mais (Figuur B3.1). De groenbemesters die voor deze studie zijn toegepast zijn een mix van 12 verschillende groenbemesters, een mix van vier, en Gele mosterd en het effect van de verschillende groenbemesterbehandelingen is vergeleken met de braak situatie.

Allereerst zijn de gegevens uit de proef over bodemtype, bemesting, type groenbemester en bouwplan ingevoerd in het model en doorgerekend om modelmatig de koolstofvastlegging als gevolg van het toepassen van groenbemesters te bepalen. Doel hiervan is nagaan in welke mate het model en de meetresultaten overeenkomen.

	Blok 1	Blok 2	Blok 3	Blok 4
2015	tarwe	tarwe	tarwe	tarwe
2016	tarwe	groenbemester	tarwe	groenbemester
	groenbemester	mais	tarwe	veldboon
2017	mais	tarwe	groenbemester	tarwe
	tarwe	groenbemester	veldboon	groenbemester
2018	tarwe	mais	tarwe	mais
	groenbemester	tarwe	groenbemester	mais
2019	mais	tarwe	mais	tarwe
	tarwe	groenbemester	tarwe	groenbemester
2020	tarwe	mais	tarwe	veldboon
	groenbemester	tarwe	groenbemester	tarwe
2021	mais	tarwe	veldboon	tarwe
	tarwe	groenbemester	tarwe	groenbemester
2022	groenbemester	mais	groenbemester	mais
	mais	tarwe	mais	tarwe
2023	tarwe	groenbemester	tarwe	groenbemester

Figuur B3.1. Bouwplanindeling per blok naar Gentsch et al. (in voorbereiding).



Figuur B3.2. Spreiding van organische stof- en lutumpercentages van akkerland in Nederland. De bars geven de range aan dat voor de modellering is toegepast (Van Tol-Leenders et al., 2019).

De proef is vervolgens opnieuw doorgerekend, met een variatie aan bodemtypen en managementkeuzes. Dit is gedaan door te variëren in het lutum- en organische stofgehalte van de bodem en het moment van inzaaien van de groenbemester. Voor het lutumgehalte is uitgegaan van een minimaal gehalte van 0,5% en een maximaal gehalte van 42 % (Figuur B3.2). Voor het organische stofgehalte is uitgegaan van een minimaal gehalte van 1,5 % en een maximaal gehalte van 14 %. Deze waarden zijn gekozen op basis van in Nederland reëel voorkomende waarden, gebaseerd op data van de CC-NL dataset (van Tol-Leenders, 2019). Deze dataset bevat lutumgehaltes en organische stofgehaltes van de bouwvoor (0 - 30 cm) van 1392 steekproeven waaronder een groot gedeelte onder akkerland. Voor de bepaling van de range

voor lutum- en organische stofgehalten zijn alleen de meetpunten onder akkerland meegenomen. Om de impact van managementkeuzes te bepalen is ervoor gekozen om te variëren met zaaidatum van de groenbemester. Dit kan in het model worden gesimuleerd door gebruik te maken van de kengetallen uit Noren et al. (2021) voor een latere zaaidatum. Door uit te gaan van een latere zaaidatum, zal de aanvoer van effectieve organische stof afnemen omdat de groenbemester minder goed kan ontwikkelen en daarmee dus minder organische stof zal aanvoeren.

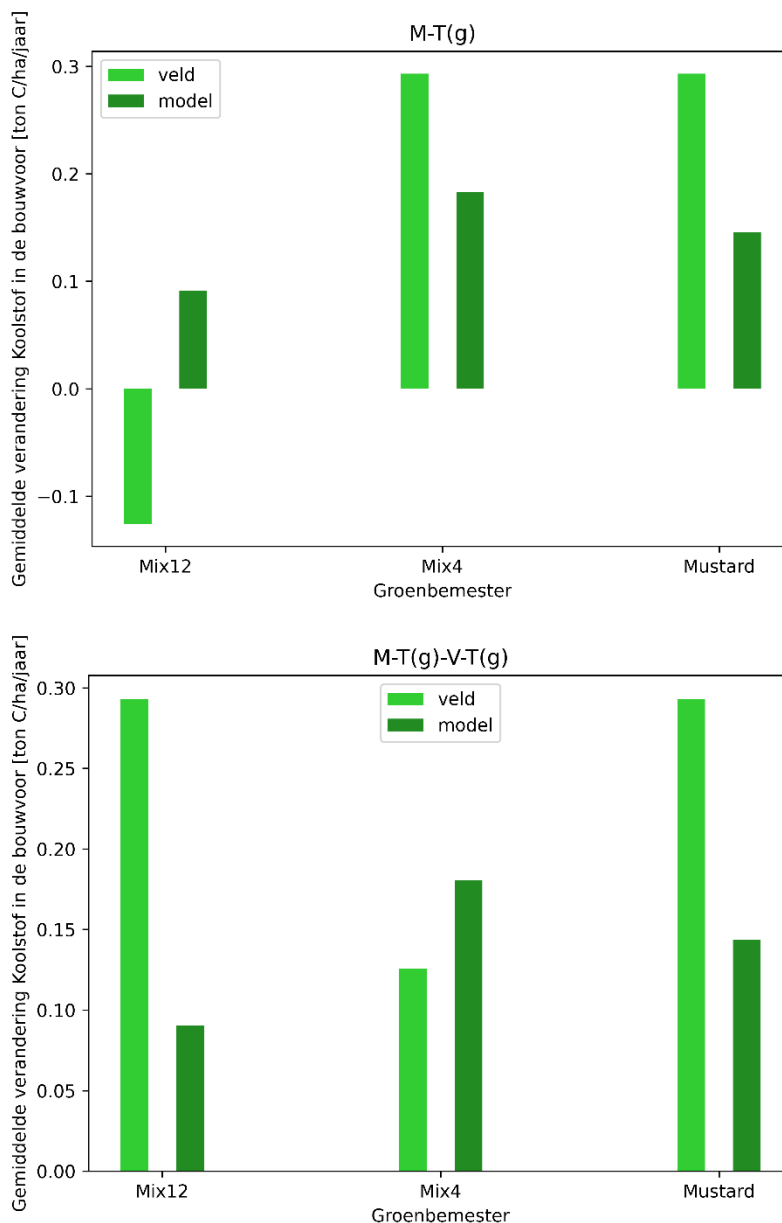
## Resultaten

Figuur B3.3 toont de gemeten en gemodelleerde vastlegging van koolstof voor de drie verschillende groenbemesters in de verschillende rotaties. Zoals te zien in Figuur B3.3 is de totale verandering in koolstofvoorraad laag en zijn de verschillen tussen de gemeten waardes en gemodelleerde waardes klein. Enkel voor de mix met 12 groenbemesters in de rotatie met tarwe en mais is in het veld een afname van de koolstofvoorraad waargenomen, terwijl het model een toename van de koolstofvoorraad voorspelt.

Het effect dat de groenbemesters hebben op de koolstofvoorraad lijkt zowel op basis van veldmetingen als modellering nog gering, maar is in de meeste gevallen wel licht positief t.o.v. braak. Het verschil tussen de modeluitkomsten en de veldmetingen zijn voor een deel te wijden aan de spreiding in de veldmetingen. Deze spreiding in de veldmetingen kan voor een deel toegerekend worden aan verschil in bodem en gewasontwikkeling op verschillende proefvelden.

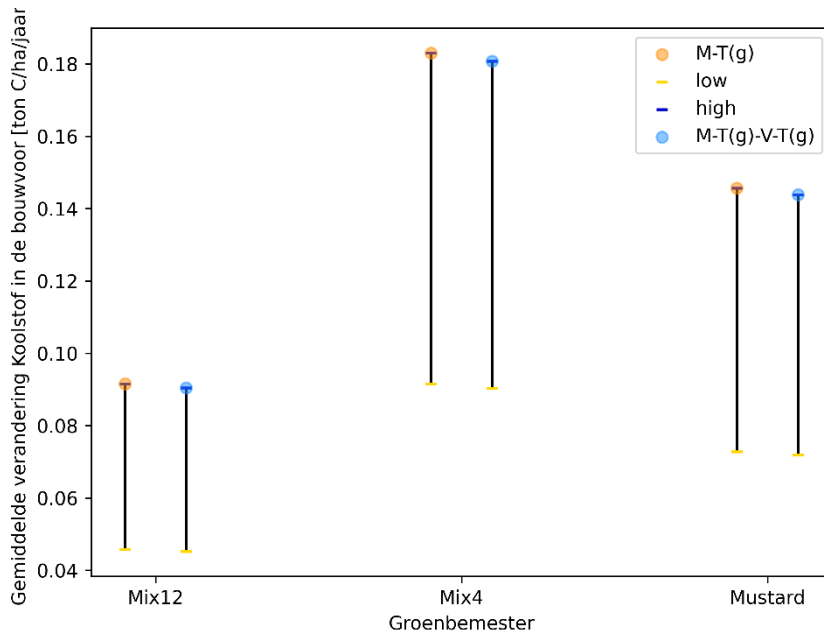
Om het effect van managementkeuzes en bodemeigenschappen op de koolstofvastlegging te bepalen zijn drie scenario's doorgerekend. Figuur B3.4 geeft de range voor verandering in koolstofvoorraad weer bij een later moment van inzaaien van de groenbemester. Bij het doorrekenen van de veldsituatie wordt ervan uitgegaan dat de ontwikkeling van de groenbemesters optimaal is. Door weersinvloeden zoals droogte of extreme regenval kan het echter voorkomen dat de oogst van het hoofdgewas wordt uitgesteld, waardoor de groenbemesters pas later kunnen worden ingezaaid. Hoe later de inzaai plaatsvindt, hoe kleiner de kans op een goede ontwikkeling van de groenbemester. Gemiddeld leidt het later inzaaien van de groenbemester tot een afname in de verandering van de koolstofvoorraad van 0.070 ton C/ha/jaar t.o.v. de gemodelleerde veldsituatie.

Figuur B3.5 toont de range in verandering in koolstofvoorraad onder verschillende realistische gehalten aan organische stof in de bodem. In Figuur B3.5 is te zien dat de het organische stofgehalte in de bodem geen impact lijkt te hebben op de potentie voor koolstofvastlegging. Wanneer enkel wordt gekeken naar de verandering in koolstofgehalte (%C) blijkt dat bij een laag initieel gehalte organische stof, de toename in koolstofvoorraad het grootst is als gevolg van het toepassen van groenbemesters. Wanneer het koolstofgehalte wordt omgezet naar de koolstofvoorraad, wordt deze vermenigvuldigd met de bulkdichtheid van de bodem. In het model wordt de bulkdichtheid o.a. gekoppeld aan het initiële gehalte organische stof. Hoe hoger het initiële gehalte organische stof, hoe lager de bulk dichtheid en vice versa. Dit leidt er echter toe dat de impact van het initiële organische stofgehalte niet tot uiting komen wanneer deze worden gepresenteerd in de koolstofvoorraad.

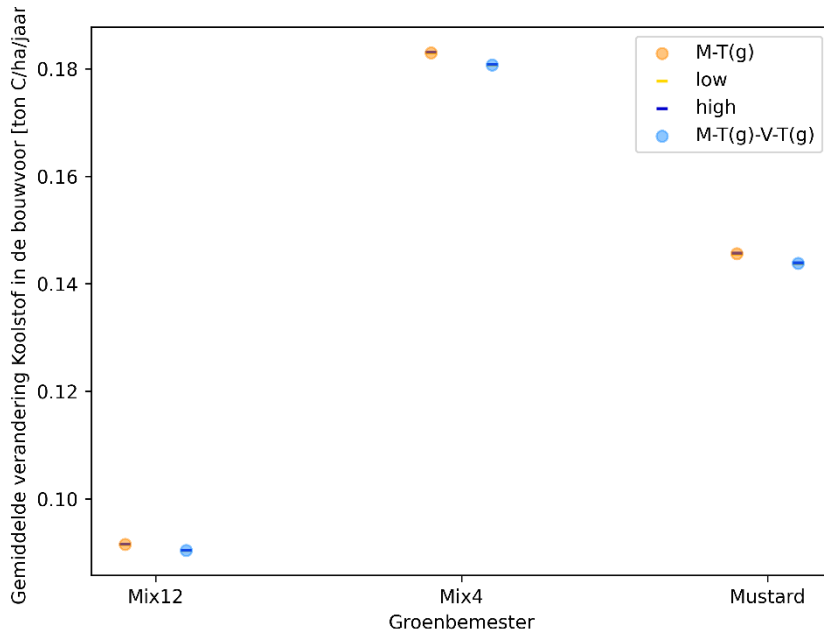


*Figuur B3.3 Staafdiagram van verandering in koolstofvoorraad van groenbemesterbehandeling ten opzichte van braak voor de rotatie met tarwe, groenbemester en mais (M-T(g)), en de rotatie met tarwe, groenbemester, veldbonen, tarwe, groenbemester en mais (M-T(g)-V-T(g)). 'Veld' toont de gemeten verandering in koolstofvoorraad in de bouwvoor en 'model' de gemodelleerde verandering in koolstofvoorraad in de bouwvoor.*

Figuur B3.6 toont de range in verandering in koolstofvoorraad onder verschillende realistische gehalten aan lutum in de bodem. De resultaten tonen dat bij een laag lutumgehalte, de potentiële verandering in koolstofvoorraad relatief klein is ten opzichte van de gemodelleerde veldsituatie. Koolstof kan makkelijker binden aan klei waardoor onder een hoger lutumpercentage de afbraak van koolstof lager is. Deze afname van de vastlegging bij een laag lutumgehalte is gemiddeld 0.020 ton C/ha/jaar t.o.v. de gemodelleerde veldsituatie. Wanneer het lutumgehalte in de bodem echter toeneemt, toont Figuur 6 een toename in de koolstofvoorraad als gevolg van groenbemesters. Deze toename is gemiddeld 0.039 ton C/ha/jaar t.o.v. de gemodelleerde veldsituatie.

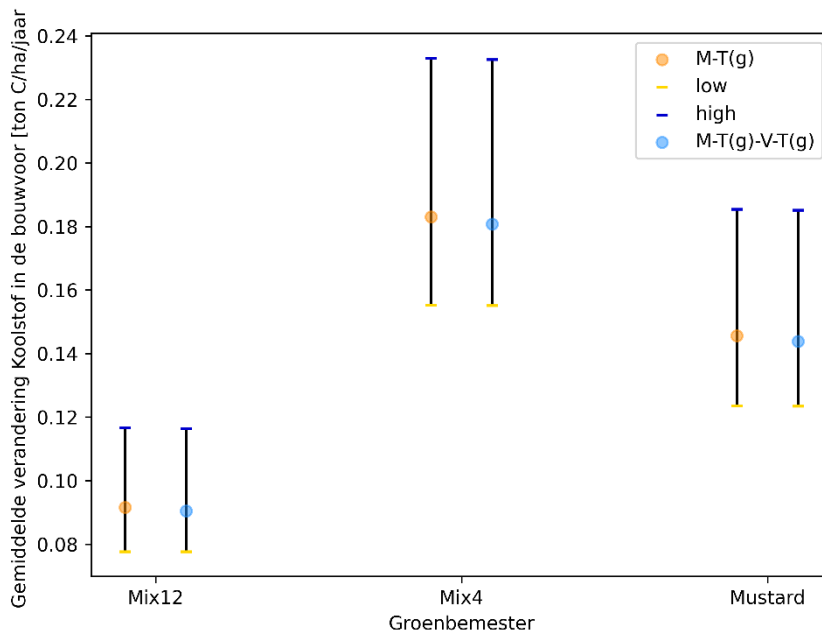


Figuur B3.4. Gemiddelde verandering in koolstofvoorraad in de bouwvoor voor 3 typen groenbemesters in 2 typen rotaties. De bars geven de range aan van de verandering in koolstofvoorraad bij een later tijdstip van inzaaien van de groenbemester t.o.v. van de gemodelleerde veldsituatie.



Figuur B3.5. Gemiddelde verandering in koolstofvoorraad in de bouwvoor voor 3 typen groenbemesters in 2 typen rotaties. De bars geven de range aan van de verandering in koolstofvoorraad bij een hoger en lager gehalte organische stof in de bodem t.o.v. van de gemodelleerde veldsituatie.





Figuur B3.6 Gemiddelde verandering in koolstofvoorraad in de bouwvoor voor 3 typen groenbemesters in 2 typen rotaties. De bars geven de range aan van de verandering in koolstofvoorraad bij hoger en lager gehalte lutum in de bodem t.o.v. van de gemodelleerde veldsituatie.

## Conclusies

De veldmetingen en modeluitkomsten laten beide een geringe verandering zien in koolstofvoorraad bij groenbemesterbehandelingen t.o.v. braak. Deze geringe verandering valt in de meeste gevallen licht positief uit en duidt op een positief effect van groenbemesters op de koolstofvoorraad van de bodem. De verschillen tussen de modelresultaten en de veldmetingen zijn klein. De verschillen kunnen worden verklaard door het heterogene karakter van de bodem wat in de veldsituatie van invloed is en de verschillen in ontwikkelingen van de gewassen. Op basis van deze studie kunnen we concluderen dat de modelsimulatie een goede overeenkomst met de gemeten veldwaarden lijkt te geven.

Een range voor de verandering in koolstofvastlegging als gevolg van groenbemesters is bepaald door het organische stofgehalte, het lutumgehalte en het moment van inzaaien van de groenbemester te variëren. Hierdoor ontstaat een range van potentie voor koolstofvastlegging onder verschillende omstandigheden. Dit helpt om een inschatting te kunnen maken van de potentie van de maatregel in heel Nederland onder verschillende bodemtypes en managementkeuzes. De minimale koolstofvastlegging die optreedt is 0.045 ton C/ha/jaar (mix van 12 soorten groenbemesters in de M-T(g)-V-T(g) rotatie bij het inzaaiscenario) en de maximale koolstofvastlegging die optreedt is 0.233 ton C/ha/jaar (mix van 4 soorten groenbemesters in de M-T(g) rotatie bij het lutumscenario). Dit leidt dus tot een totale range van 0.045 - 0.233 ton C/ha/jaar. In het algemeen kan er worden geconcludeerd dat de potentie voor koolstofvastlegging als gevolg van groenbemesters hoger is wanneer het lutumgehalte in de bodem hoger is en de groenbemesters optimaal kunnen ontwikkelen. Het initiële organische stofgehalte lijkt minder invloed te hebben op de verandering in koolstofvoorraad, dit kan worden verklaard door een afname van bulkdichtheid bij een toename van organische stof.