

Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof

Resultaten uit Lange Termijn Experimenten (LTE's)

**Chris Koopmans¹, Bart Timmermans¹, Jan Paul Wagenaar¹,
Jordy van 't Hull², Marjoleine Hanegraaf² en Janjo de Haan²**

¹ Louis Bolk Instituut ² Wageningen University & Research



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit

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

COLOFON

Dit rapport is tot stand gekomen binnen het Project '2.2a Evaluatie maatregelen voor vastleggen koolstof in Lange Termijn Experimenten (LTE's)' binnen het projectcluster '2018-2019 m.b.t. koolstof in landbouwbodem in het kader van het LNV-klimaatbeleid.

© 4 juli 2019

Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof

Resultaten uit Lange Termijn Experimenten (LTE's)

54 pagina's en bijlage

Chris Koopmans¹, Bart Timmermans¹, Jan Paul Wagenaar¹, Jordy van 't Hull², Marjoleine Hanegraaf² en Janjo de Haan²

¹ Louis Bolk Instituut ² Wageningen University & Research

Voorwoord

Dit project is gefinancierd door het ministerie van LNV en komt voort uit de klimaatdoelstelling van het ministerie van LNV om maatregelen te definiëren, te monitoren en te evalueren aan de hand van pilots en Lange termijn Experimenten om binnen de sector landbouw en landgebruik uiteindelijk in 2030 een vastlegging van 0,5 Mton CO₂ per jaar te realiseren als gevolg van het gebruik en beheer van land en bodem (voornamelijk op minerale gronden).

Bij de opzet en analyse hebben wij de medewerking gevraagd van diverse partijen en mensen. Allereerst betreft het hier de beheerders van de betrokken experimenten die hun proefvelden beschikbaar hebben gesteld voor dit onderzoek, waaronder Wiepie Haagsma, Marie Wesselink, Harry Verstegen, Paulien van Asperen, Johan Specken, Jan van Geffen, Geert Jan van den Brug, Carina Rietema, Carmen Versteeg, Stichting Duinboeren, Nynke Hoekstra, Fedde de Jong, Hilfred Huiting, Goaitske Iepema, Pedro Janssen, Thieu Bongers en Joachim Deru . Ook zijn wij dankbaar voor het team medewerkers die, onder zware condities in het najaar van 2018, de bodems hebben weten te bemonsteren: Hans Dullaert (LBI), Pieter Dijk (WenR), Johannes Bloembergen (WPR) en Riekje Bruinenberg (LBI). De medewerkers van Eurofins en specifiek Arjan Reijneveld hadden een grote uitdaging met de vele monsters die aangeboden werden en geanalyseerd moesten worden. Tenslotte hebben diverse collega's bijgedragen aan zowel de voorbereidingen van het protocol en analyse van data en rapport waaronder Joost Keuskamp, Maaïke van Agtmaal en Metha van Bruggen.

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding en achtergrond	10
2 Vraagstelling en onderzoeksdoel	13
3 Materiaal en methode	14
3.1 Keuze van de maatregelen en Lange Termijn Experimenten (LTE's)	14
3.2 Keuze van de maatregelen en Lange Termijn Experimenten (LTE's)	15
3.3 Dataverwerking en statistiek	17
3.4 Opzet van de LTE's	18
4 Resultaten	26
4.1 Resultaten van de bodemanalyses	26
4.2 Maatregel: aanpassingen in het bouwplan	26
4.3 Maatregel: niet kerende grondbewerking (NKG) in akkerbouwrotaties	28
4.4 Maatregel: organische stof input	29
4.5 Maatregel: leeftijd van grasland (niet scheuren)	31
4.6 Maatregel: diversiteit grasland	33
4.7 Maatregel: grondbewerking in mais	33
4.8 Verdichting bepaald met de penetrologger	35
4.9 Historische data-analyse	38
4.10 Correlaties tussen de verschillende analysemethoden	41
5 Beperkingen en ontbrekende analyse resultaten	46
6 Discussie en conclusies	47
7 Aanbevelingen	51
Literatuur	53
Bijlagen zijn als apart document voorhanden	

Samenvatting

Doelstelling

Doelstelling binnen dit onderzoek is het toetsen van een geselecteerde set aan landbouwkundige maatregelen, aansluitend bij Lesschen (2012), op de koolstof vastleggende capaciteit. Uitgangspunt is de vraag of met slimmer landgebruik en slimmere inzet van managementmaatregelen kan worden bijgedragen aan de target van de overheid om in 2030 0,5 Mton CO₂ per jaar netto reductie van CO₂-emissie te realiseren uit slimmer landgebruik.

Materiaal en methoden

Op basis van een uitgebreide inventarisatie (van 't Hull et al., 2018) is een overzicht-matrix opgesteld met bekende, relevante en professionele lange termijn experimenten. Hieraan zijn tevens de selectiecriteria toegevoegd waarmee de inventarisatie aan potentiële LTE's compleet is gemaakt:

Geselecteerde maatregelen en de LTE-initiatieven waarin gemeten is

Akkerbouw	Klei	Zand
Aanpassingen in bouwplan	Planty Organic – Groningen	Bodemkwaliteit op zand - Limburg
Grondbewerking	BASIS - Flevoland	Bodemkwaliteit op zand - Limburg Bodemkwaliteit Veenkoloniën - Drenthe
Organische stof input	Mest als Kans - Flevoland	Bodemkwaliteit op zand - Limburg Bodemkwaliteit Veenkoloniën - Drenthe
Veehouderij	Klei	Zand
Leeftijd grasland	Goud van oud - Friesland	Carbon Valley - Brabant
Diversiteit grasland	Koeien en kruiden - Friesland	Soortenrijk grasland - Limburg
Grondbewerking in mais	Duurzame maisteelt - Flevoland	De Moer - Brabant

In de LTE's is de bodem C-voorraad bepaald met behulp van fysieke bodemmetingen. Tijdens het gehele proces van bemonstering, monstervoorbehandeling en analyses in het laboratorium zijn de richtlijnen van een monitoringsprotocol gevolgd. Daarbij zijn parameters als koolstofgehalte, organische stof (volgens gloeiverlies en NIRS), bulkdichtheid, verdichting (middels penetrometer), kleifractie en stikstofgehalte gekwantificeerd binnen de specifieke bemonsteringsdieptes van 0-30 en 30-60 cm aangevuld met 0-10 cm voor de veehouderij op grasland. De locaties van de geselecteerde bemonsteringspunten zijn met behulp van GPS vastgelegd. Daarnaast zijn ook data over het bedrijfsmanagement verzameld.

Resultaten

Overzicht

De samenvatting van de in deze studie gemeten effecten staat in onderstaande tabel waarbij een vergelijking is gemaakt met de potentiële C-vastlegging zoals die door Lesschen et al. (2012) in de literatuur beschreven werd.

Tabel 24. Samenvatting van de in deze studie gemeten resultaten, per maatregel en bodemtype, en vergelijking met de getallen voor C-vastlegging uit Lesschen et al., 2012 en Koopmans et al., 2018. Significanties worden aangeduid met sterretjes.

Maatregel	Omschrijving	Grondsoort	Laag	ton C/ha/jaar	ton CO ₂ /ha/jaar	Literatuur ton CO ₂ /ha/jaar
Bouwplan	3 → 6 jaar	Klei	0-30	0.00-1.74***	0.0-6.4***	1.2-1.8
	Extensivering	Zand	0-30	-3.02-3.15***	-11.1-11.6***	1.2-1.8
Grondbewerking akkerbouwrotatie	NKG woelen	Klei	0-30	-0.11	-0.4	0.6
	NKG woelen	Veenkoloniën	0-30	1.18	4.3	
	NKG woelen	Zand	0-30	-1.57	-5.8	1.7
Organische stof input	Drijfmest	Klei	0-30	-0.06	-0.2	0
	GFT compost	Klei	0-30	-0.06	-0.2	0.4-2.0
	Vaste mest	Klei	0-30	0.17**	0.6**	1.4
	Compost	Veenkoloniën	0-30	11.62	42.6	0.4-2.0
	Compost + tagetes	Veenkoloniën	0-30	-6.90	-25.3	
	Drijfmest	Zand	0-30	-0.48	-1.8	0
	Extra groencompost	Zand	0-30	1.38	5.1	0.4-2.0
Leeftijd grasland	9-19 jaar	Klei	0-10	2.80***	10.3***	4.1
	9-19 jaar	Klei	0-30	1.67	6.1	
	>20 jaar	Klei	0-10	2.02***	7.4***	2.6
	>20 jaar	Klei	0-30	2.38*	8.7*	
	4-6 jaar	Zand	0-10	2.40	8.8	4.1
	4-6 jaar	Zand	0-30	1.01	3.7	
	>10 jaar	Zand	0-10	1.87**	6.9**	2.6
	>10 jaar	Zand	0-30	-0.09	-0.3	
Grondbewerking mais	NKG Frees	Klei	0-30	0.28	1.0	7.2
	NKG Woelen	Klei	0-30	0.69**	2.5**	
	NKG Frees	Zand	0-30	0.29	1.1	7.2
	NKG Woelen	Zand	0-30	0.00	0.0	

Aanpassing Bouwplan

De maatregel aanpassingen in het bouwplan kan vele vormen hebben, en is in de LTE's vooral ingevuld met een extensievere bredere vruchtwisseling in vergelijking met een intensievere. Het potentieel van deze maatregel lijkt groot, in sommige gevallen zelfs veel groter dan de waarden uit de literatuur, echter er zit veel variatie in de resultaten van verschillende behandelingen en de richting van het effect: een extensievere rotatie leidde in het ene geval tot extra C-vastlegging en in de andere vergelijking juist tot minder C-vastlegging. De LTE's laten zien dat dit voor een deel te wijten is aan het gewas in het jaar dat is gemeten, echter er zitten in beide LTE's waar dit gemeten is ook versturende factoren die het resultaat vertroebelen. Deze maatregel verdient zeker verdere analyse en verdieping.

Niet kerende grondbewerking

Niet kerende grondbewerking (NKG) als maatregel had in de Nederlandse LTE's voor de akkerbouw waarin dit gemeten werd geen aantoonbaar positief effect op de C-

vastlegging in de bodem. De drie LTE's toonden ook geen duidelijke trend. Dit is niet in overeenstemming met hetgeen soms in de literatuur gevonden wordt en daar kunnen onder Nederlandse condities verschillende redenen voor zijn. Te denken valt aan de intensiteit van de NKG onder Nederlandse condities vergeleken met het buitenland. Nederland kent intensievere bouwplannen met gewassen waarbij relatief intensieve zaaibedbereiding nodig blijft zoals voor ui. Ook zijn er gewassen als aardappelen die op ruggen worden geteeld. Daarnaast is er in Nederland sprake van een tendens naar minder diep ploegen waardoor het verschil met NKG mogelijk verkleind. Opvallend is dat we wel effecten zien van niet kerende grondbewerking in mais na grasland, op klei. NKG door woelen leidde tot meer C in de bodems. Bij dit C gaat het, in ieder geval gedeeltelijk, om C dat ingebracht is door meerjarig grasland, en vervolgens verminderd afbreekt. Langjarige maisteelt is daarbij een heel ander systeem dan een intensieve vruchtwisseling in de akkerbouw, waarbij veel meer bewerkingen in de grond plaatsvinden.

Organische stof input

Organische stof input van een vrij beperkte hoeveelheid vaste mest op klei gaf een beperkte maar significante toename van de C-vastlegging in de bouwvoor. Compost op zand liet een toename van organische stof in de bouwvoor als trend zien, die groter maar net niet significant was. Voor klei was de toename wat lager dan in de literatuur. Dit komt door waarschijnlijk door de vrij geringe hoeveelheid mest. Op zandgrond gaf de grotere (bovenwettelijke) hoeveelheid compost ook een grotere toename in C-vastlegging, meer dan beschreven in de literatuur. Dit laat de potentie van deze maatregel zien.

Leeftijd grasland

Voor de veehouderij had leeftijd van grasland voor graslanden op kleigrond een groot effect op de C-vastlegging in de bodem: de verhoging in C was hoger dan de waarden beschreven in de literatuur. Voor zandgrond zien we een sterke toename van C-vastlegging in de laag 0-10 cm, ook hoger dan de literatuur laat zien in deze bodemlaag. Echter, bekijken we de laag 0-30 cm, dan is voor grasland op zandgrond geen toename gemeten.

Diversiteit grasland

In de LTE's waarin deze maatregel wordt onderzocht is een goede startmeting uitgevoerd. Er waren geen significante verschillen tussen de objecten. Over deze maatregel is dan ook nog geen uitspraak te doen

Historische data

Uit de eerste analyse van historische data blijkt dat voor het doen van uitspraken over koolstofvastlegging als gevolg van landbouwkundig handelen, meerdere metingen met gebruikmaking van dezelfde analysemethodiek over een langere periode nodig zijn. De

koppeling van specifieke historische data aan de resultaten van de LTE's kan nog verder worden uitgewerkt.

Correlaties tussen de metingen

De correlatie tussen OS elementair en OS gloeiverlies is over het algemeen goed (hoge R^2 waarde) en, bij aanname van 50% C in de bodemorganische stof, is de OS gloeiverlies 5 % tot 8 % lager dan de OS elementair. We zien in deze correlatie geen duidelijke proef of regio specifieke effecten. De correlatie tussen OS elementair en OS NIRS daarentegen is toch wat minder goed (lagere R^2 waarden). Deze is voor Dalgrond en Dekzand gemiddeld 0.85, maar voor zeeklei slechts 0.77, met daarbij enkele proeven / regio's met zeer lage R^2 waarde (matige tot slechte correlatie). Bovendien blijkt OS NIRS ten opzichte van OS elementair een bodemtype specifieke afwijking te vertonen, waarbij de OS NIRS voor dalgronden gemiddeld 9% lager was dan de OS elementair (vergelijkbaar met OS gloeiverlies), bij zandgronden 1% hoger, maar bij zeeklei gronden gemiddeld 36% hoger dan de OS elementair.

Discussie en conclusies

Om te weten of daadwerkelijk 0,5 Mton CO₂-reductie per jaar wordt gehaald met de inzet van bodemmaatregelen, is het van belang zowel de uitgangssituatie van de voorraad organische stof in de bodem te kennen, maar vooral ook de potentie van de verschillende maatregelen die genomen kunnen worden bij verschillende bodemtypes en landbouwkundig management. Samen levert dit met het implementatie percentage uiteindelijk de koolstofvastlegging in Nederlandse minerale gronden op.

Meer verdiepend onderzoek is nodig om de bijdrage van de uiteenlopende maatregelen verder te kwantificeren. Daarbij zal de focus naast bovenstaande vragen moeten worden gericht op de meest perspectiefvolle maatregelen:

- Aanpassingen in het bouwplan zoals met de inzet van rustgewassen zoals granen, of graszaad die relatief veel stabiele organische stof achterlaten;
- Uitstel van het scheuren van grasland (vooral op klei);
- Werkzame systemen met mais met NKG door woelen;
- Bemestingsstrategie: verschuivingen naar stabielere mestsoorten als vaste mest en compost;
- Gewasdiversiteit (divers grasland) en rassen met meer wortelbiomassa.

Aanbevelingen

Aanbevolen wordt in te zetten op aanvullende metingen in lopende LTE's op de gestandaardiseerde wijze waarbij ook mogelijke afwentelingseffecten waaronder gasvormige emissies van bijvoorbeeld lachgas worden meegenomen.

Daarnaast zouden aanvullende studies opgezet dienen te worden waarbij het effect van aanpassingen in het bouwplan kunnen worden onderzocht. Ook zijn een aantal

maatregelen nog niet op een gestandaardiseerde wijze onderzocht waaronder het effect van groenbemesters, achterlaten van gewasresten, akkerranden en 'no-till'. Er is onderzoek nodig naar specifieke situaties waar de huidige LTE's geen uitkomst bieden zoals de inzet van organische stof input op zand maar ook de effecten van mogelijk andere gewassen en bouwplanmaatregelen.

Tot slot is aanvullende en verdiepende data-analyse mogelijk door de resultaten van de LTE-studies te combineren met modelanalyses zoals de modellen RothC en NDICEA.

1 Inleiding en achtergrond

De klimaatdoelstelling van de overheid is om binnen de sector landbouw en landgebruik uiteindelijk in 2030 een vastlegging van 0,5 Mton CO₂ per jaar te realiseren door het gebruik en beheer van land en bodem. Binnen de klimaatenvolpe is de mogelijke bijdrage voor vastleggen van CO₂ van de sector landbouw en landgebruik beschreven in het traject 'Klimaatwinst uit doordacht landgebruik'.

De kennis en data over de potentie voor bodemkoolstofvastlegging door verschillende bodemmaatregelen is echter nog beperkt beschikbaar. Om vast te stellen in welke mate bodemmaatregelen een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan de koolstofvastlegging, is het nuttig de verwachte bijdrage, die nu vooral op basis van buitenlandse literatuur wordt bepaald, ook te toetsen aan de hand van langlopende onderzoektrajecten in Nederland. Zo komt voor beleid en de praktijk meer onderbouwde informatie beschikbaar.

In Nederland zijn op dit moment een beperkt aantal bodemgerelateerde Lange Termijn Experimenten (LTE's) actief. Deze zijn meestal gericht op milieudoelen rond bijvoorbeeld stikstof en fosfaat en dus niet specifiek gericht op klimaatdoelen. In de bestaande LTE's wordt niet altijd de rol van de bodem meegenomen als optie voor het beperken van de broeikasgasemissie uit de landbouw of het opslaan van C. Desondanks is er een set aan LTE's gevonden waarbij mogelijke maatregelen die leiden tot meer of minder koolstofvastlegging konden worden getoetst.

Binnen LTE's zijn de voor- en nadelen van klimaatrelevante maatregelen en vastlegging van koolstof mogelijk deels te duiden, omdat omstandigheden en monitoringgegevens beschikbaar zijn. De potentiële vastlegging van CO₂ in de bodem hangt in eerste instantie samen met het bodemtype en het huidige organische stofniveau ten opzichte van het potentiële niveau. Daarom is een landsdekkend beeld met de verschillende bodemtypen en landgebruik belangrijk.

Uit de literatuur (Lesschen et al., 2012) blijkt dat het niet-scheuren van grasland een zeer potentierijke maatregel is met een potentiële vastlegging van 3,6 ton CO₂ per ha per jaar (tabel 1). Omdat niet alle maatregelen tegelijkertijd kunnen worden doorgevoerd, is een totaal Nederlands potentieel van alle maatregelen samen aangegeven van 2,3 Mton CO₂ per jaar.

Tabel 1: Berekende maximale CO₂ vastlegging in de bodem van Nederland voor zeven geselecteerde maatregelen (naar Lesschen et al., 2012).

Maatregel	Max. per ha kg CO ₂ / ha / jaar
Niet-kerende grondbewerking	608
Geen grondbewerking	1167
Vanggewas / groenbemester	398
Verbeteren gewasrotaties	1205
Gewasresten achterlaten	803
Akkerrandenbeheer	186
Niet scheuren grasland	3586
Totaal realistische combinaties	2316

Koopmans et al. (2018) geven op basis van recente studies, indicaties van het maximale potentieel van verschillende maatregelen voor de veehouderijsector, die aansluiten bij het niet-scheuren van grasland (Tabel 2):

Tabel 2: Potentiële C-vastlegging van maatregelen uit de veehouderij (naar Koopmans et al., 2018).

Veehouderij	Max potentieel ton CO ₂ ha ⁻¹ jaar ⁻¹	Referentie
Grasland jong 0-10 cm	4,1	De Wit et al., 2018
Grasland 15 jaar oud 0- 10 cm	2,6	De Wit et al., 2018
NKG in mais na grasland	7,2	Deru et al., 2015
Diversiteit grasland	1,4	Lange et al., 2015

Dit geeft aan dat in de opbouwfase van grasland de opbouw van organische stof relatief veel bijdraagt en de leeftijd van grasland daarmee van belang is. Mais telen met minimale grondbewerking is een andere uitwerking van de maatregel beperkt-scheuren-van-grasland die inmiddels op verschillende locaties in Nederland wordt getest.

In de akkerbouw kan de meeste winst volgens Lesschen (2012) worden bereikt met de verbeteren van gewasrotaties en achterwege laten van grondbewerking. Tabel 3 geeft een uitgebreidere indicatie van aanvullende maatregelen op basis van recente studies (naar Koopmans, 2018). Hieruit blijkt dat ook de verandering van de inzet van drijfmest richting vaste mestsoorten en compost, significant kan bijdragen aan de CO₂ vastlegging in de akkerbouw. De meeste klimaatwinst lijkt echter te behalen met (drastische) aanpassingen in het bouwplan en grondbewerking:

Tabel 3: Potentiële C-vastlegging van maatregelen uit de akkerbouw (naar Koopmans et al., 2018)

Akkerbouw	Max potentieel ton CO ₂ ha ⁻¹ jaar ⁻¹	Referentie
Grondbewerking minimale	1,7	Cooper et al., 2016
Organische stof input		
Groencompost	0,4	Koopmans en Bloem, 2018
GFT-compost	0,9	Koopmans en Bloem, 2018
GFT-compost + drijfmest	0,8	Koopmans en Bloem, 2018
Potstalmest	1,4	Koopmans en Bloem, 2018
Natuurcompost	2,0	Koopmans en Bloem, 2018
Vanggewas (gras)	0,4	Lijster et al., 2016
Bouwplan aanpassing		
4 jarig met 50% tarwe	0,2	Lijster et al., 2016
4 jarig met 50% tarwe+klaver	1,6	Lijster et al., 2016
6 jarig Rotatie met grasklaver	1,8	Van der Burgt et al., 2017

Voor zowel voor de veehouderij alsook de akkerbouw blijft het verloop van een eventuele opbouw aan organische stof met deze maatregelen echter vooral gissen. Dit zowel wat betreft het verloop in de tijd alsook de spreiding die mag worden verwacht onder de uiteenlopende bodemtypen, typisch Nederlands landgebruik en klimaatcondities. Voor een beter zicht op de effectiviteit en bijdrage van management maatregelen in de landbouw aan de klimaatopgave voor minerale gronden is in dit traject een aanzet gedaan door slim gebruik te maken van bestaande proeven om de eerste indicatie te krijgen van de bijdrage van management maatregelen aan het CO₂-vastlegging potentieel.

2 Vraagstelling en onderzoeksdoel

Uitgangspunt is de vraag of met slimmer landgebruik en slimmere inzet van managementmaatregelen kan worden bijgedragen aan de target van de overheid om in 2030, 0,5 Mton CO₂ per jaar netto reductie van CO₂-emissie te realiseren uit slimmer landgebruik. Op een totaal van 2 Mha landbouwgrond zou dit neerkomen op een gemiddelde van 500 – 1000 kg CO₂ (ofwel 140-270 kg C) vastlegging per ha per jaar.

Doelstelling binnen dit onderzoek is het toetsen van een geselecteerde set aan landbouwkundige maatregelen, aansluitend bij Lesschen et al. (2012), op de koolstof vastleggende capaciteit. In eerste instantie volgens een protocol aansluitend bij de emissieregistratie maar er is ook aandacht voor duurzaam bodembeheer zoals de dichtheid en verdichting van de bodem.

Om te weten of daadwerkelijk 0,5 Mton CO₂-reductie per jaar wordt gehaald als gevolg van geïmplementeerde bodemmaatregelen, is het van belang zowel de uitgangssituatie van de voorraad organische stof in de bodem te kennen, alsook de effecten van de verschillende maatregelen die genomen kunnen worden onder verschillende bodemcondities. Samen met een implementatiepercentage, veelal een politiek en economische keuze, levert dit de uiteindelijke CO₂-vastlegging die vergeleken kan worden met de doestelling van 1 Mton.

De metingen aan de LTE's dienen verder als demonstratie zodat boeren en andere professionals kunnen zien of en hoe bodemmaatregelen kunnen bijdragen aan de koolstofvastlegging bij implementatie in de praktijk. Met deze benadering wordt maximaal gebruik gemaakt van bestaande initiatieven.

3 Materiaal en methode

3.1 Keuze van de maatregelen en Lange Termijn Experimenten (LTE's)

In een voorafgaand traject ('t Hull et al., 2018) zijn de meest potentierijke maatregelen als het gaat om CO₂ vastlegging voor de sectoren veehouderij en akkerbouw in kaart gebracht. Ook is in kaart gebracht welke specifieke maatregelen onderdeel uitmaken van de verschillende LTE's in Nederland. In hoeverre deze maatregelen en acties breed te implementeren zijn in de landbouwpraktijk is vooral ook een politieke keuze.

Voor de keuze en selectie van maatregelen en bruikbare Lange Termijn Experimenten (LTE's) zijn een aantal selectiecriteria geformuleerd om te komen tot focus en bruikbaarheid van de experimenten uit de praktijk:

1. Potentieel van de maatregel in termen van organische stof opbouw en CO₂ vastlegging;
2. Inpasbaarheid in de bedrijfsvoering op hectare basis;
3. Beschikbaarheid van data van de LTE over meerdere jaren;
4. Bereidheid van de beheerder van de LTE om alle benodigde data uit het experiment te delen;
5. Capaciteit bij de betrokkenen om bestaande data te leveren;
6. Bereidheid om het experiment beschikbaar te stellen voor bemonstering;
7. Representativiteit van de LTE voor de bredere sector/bedrijven in termen van hectares landgebruik;
8. Representativiteit van de grondsoort: zand en klei (eventueel later regionaal aan te vullen en ook löss en veen toe te voegen);
9. Opzet experiment aansluitend bij lopend of nieuw beleid.

In het onderzoek is uitgegaan van maatregelen waarvan uit de literatuur (Lesschen et al., 2012; Koopmans et al., 2018) bekend is dat deze een groot potentieel hebben in termen van C-vastlegging in combinatie met een potentieel van implementatie in de praktijk. Deze lijst is daarmee zeker niet uitputtend: in latere jaren kan immers op aanvullende maatregelen worden gefocust waarbij ook combinaties van maatregelen mogelijk zijn. De geselecteerde set behelst:

Voor de akkerbouwsector:

- Aanpassingen in het bouwplan
- Niet kerende grondbewerking (NKG)
- Organische stof input

Voor de veehouderijsector:

- Leeftijd van grasland (niet scheuren)
- Grondbewerking in mais
- Diversiteit grasland

3.2 Keuze van de maatregelen en Lange Termijn Experimenten (LTE's)

In een eerste stap is op basis van een uitgebreide inventarisatie (van 't Hull et al., 2018) een overzicht-matrix opgesteld met bekende, relevante en professionele lange termijn experimenten. Hieraan zijn tevens de selectiecriteria toegevoegd waarmee de inventarisatie aan potentiële LTE's compleet is gemaakt. Op basis van de screening en gesprekken die zijn gevoerd met LTE-vertegenwoordigers en op basis van haalbaarheid en de beschikbaarheid van referentie behandelingen (zonder de klimaatmaatregel) zijn de geselecteerde LTE's als volgt ingedeeld naar te onderzoeken maatregelen met relevante grondsoorten:

Tabel 4. Geselecteerde maatregelen en de LTE-initiatieven waarin gemeten is

Akkerbouw	Klei	Zand
Aanpassingen in bouwplan	Planty Organic – Groningen	Bodemkwaliteit op zand - Limburg
Grondbewerking	BASIS - Flevoland	Bodemkwaliteit op zand - Limburg Bodemkwaliteit Veenkoloniën - Drenthe
Organische stof input	Mest als Kans - Flevoland	Bodemkwaliteit op zand - Limburg Bodemkwaliteit Veenkoloniën - Drenthe
Veehouderij	Klei	Zand
Leeftijd grasland	Goud van oud - Friesland	Carbon Valley - Brabant
Diversiteit grasland	Koeien en kruiden - Friesland	Soortenrijk grasland - Limburg
Grondbewerking in mais	Duurzame maisteelt - Flevoland	De Moer - Brabant

Bijlage 1 geeft een grafisch overzicht van de locaties van de LTE's.

In de LTE's is de bodem C-voorraad bepaald met behulp van fysieke bodemmetingen. Tijdens het gehele proces van bemonstering, monstervoorbehandeling en analyses in het laboratorium zijn de richtlijnen van een monitoringsprotocol gevolgd (Bijlage 2). Daarbij zijn parameters als koolstofgehalte, organische stof (volgens gloeiverlies en NIRS), bulkdichtheid, verdichting (middels penetrologger), kleifraction en stikstofgehalte gekwantificeerd binnen de specifieke bemonsteringsdieptes van 0-30 en 30-60 cm aangevuld met 0-10 cm voor de veehouderij op grasland. De locaties van de geselecteerde bemonsteringspunten zijn met behulp van GPS vastgelegd. Daarnaast zijn ook data over het bedrijfsmanagement verzameld. Details van het monitoring protocol staan uitgewerkt in bijlage 2.

In een tweede stap is door een team van veldmedewerkers een campagne gehouden in de periode september-november 2018 om de geselecteerde behandelingen per LTE op geheel identieke en gecontroleerde wijze te bemonsteren volgens het vastgestelde protocol.

In een derde stap zijn de analyses verricht waarbij de metingen telkens onderverdeeld zijn in drie groepen van samenhangende metingen. Deze meetsets zijn respectievelijk:

Tabel 5 Metingen verricht aan monsters uit de LTE's

	Variabele	Diepte (cm)		
		0-10*	0-30	30-60
Koolstofvoorraad	C-elementair ¹	x	x	x
	C-totaal ²	x	x	x
Aansluiting praktijk	Organisch stofgehalte (NIRS) ³	x	x	x
	Organisch stofgehalte (gloeiverlies) ⁴	x	x	x
Koolstofontwikkeling	N-totaal (Dumas-klassiek)		x	
	Kleifractie		x	
	pH-CaCl ₂		x	
	Koolstoffracties (pyrolyse)		x	
Dichtheid	Bulkdichtheid ringen 100 cc	x	x	X
	Penetrologger (verdichting)		0-100 cm	

*Alleen voor grasland

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

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

³ Near Infra Red Spectroscopy

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

Koolstofvoorraad: C-elementair

Als basis van de meetset moet je eerst weten wat de huidige koolstofvoorraad in de bodem is. De hier genoemde metingen zijn geschikt voor een zo precies mogelijke inschatting van de huidige koolstofvoorraad en dienen als referentie voor metingen in de toekomst. Omdat binnen slim landgebruik uiteindelijk gerekend wordt aan C of CO₂ en niet aan organische stof, en er variatie en onzekerheid bestaat over hoeveel C er nu in organische stof zit (b.v. Reijneveld et al., 2009), vormt dit het argument om bij de berekeningen van C of CO₂ vastlegging uit te gaan van C-elementair. Dit betekent dat in alle effecten van de maatregelen verschillen in de C-elementaire analyse worden gebruikt. Om aansluiting bij de praktijk te houden worden deze onder andere gepresenteerd als percentage organische stof, met de aanname dat 50% van de organische stof uit C bestaat. De in een eerdere conceptversie van dit verslag gepresenteerde data van organische stof uit gloeiverlies zijn vernieuwd (er volgend voor vier LTE's nog correcties op de voorlopige data) en zijn voor de volledigheid weergegeven in Bijlage 5.

Aansluiting bij de praktijk

Naast het meten van de koolstof voorraad is het ook belangrijk om aan te sluiten bij de praktijk. Om de vertaalslag te kunnen maken tussen de op precisie gerichte meetgegevens over de koolstofvoorraad en de gegevens waar agrariërs mee werken is het belangrijk om de in de praktijk gebruikte, vaak op NIRS gebaseerde koolstofdata, mee te nemen.

Koolstofontwikkeling

Om de te verwachten hoeveelheid extra vastlegging in te schatten is naast de totale hoeveelheid koolstof ook de uiteindelijke verblijfsduur van deze koolstof van belang. Alleen

bij een stijging van de hoeveelheid stabiele koolstof levert een maatregel immers een effectieve en langdurige bijdrage aan de koolstofvastlegging. De metingen in dit pakket dienen om in de toekomst inschattingen te kunnen maken wat de lange-termijn effecten van maatregelen zal zijn.

De chemische bepalingen zijn uitgevoerd door Eurofins Agro volgens standaardprotocollen (Bijlage 3). De bulkdichtheid is bepaald door het laboratorium van het Louis Bolk Instituut waarbij de grond uit de ringen gedurende 48 uur gedroogd is bij 105 °C. Uit het volume van de ringen (100cc) en het gewicht van de droge grond kan de bulkdichtheid van de grond in g per cm³ worden berekend.

Met dit onderzoek is een eerste set van waarnemingen aan maatregelen uitgevoerd. Deze kunnen in de periode 2019-2021 aangevuld worden met waarnemingen aan diverse aanvullende maatregelen in LTE's en aanvullende verdiepende experimenten.

3.3 Dataverwerking en statistiek

In de derde stap is een dataset opgebouwd met informatie van de LTE's omtrent de behandelingen en managementinformatie waaronder: ploegdiepte, (historisch) landgebruik, bedrijfsvoering, bouwplan en beheer van gewasresten, grondbewerkingen, bemesting. Deze database is aangevuld met de bodemmetingen uit de meetcampagne.

In de vierde stap zijn de waarnemingen als een integrale dataset geanalyseerd. Deze set bevat de bijdrage van bodemmaatregelen aan de koolstofvoorraad in de bodem voor de verschillende maatregelen uit de verschillende LTE's.

De statistische analyse is uitgevoerd met het programma Genstat 18th edition (versie 18.1.0.17005, VSN International Ltd). Hierbij is per LTE gebruik gemaakt van een ANOVA (met t-test vergelijkingen tussen de behandelingen), in vier herhalingen zonder blokken, aangezien in het voortraject gericht geselecteerde behandelingen uit bestaande proeven meegenomen zijn. Om de effecten van de maatregelen zichtbaar te maken is in alle LTE's iedere keer een 'standaard' behandeling zonder de betreffende maatregel vergeleken met een behandeling waarin de betreffende maatregel werd toegepast.

De vastlegging is per proef statistisch getest, en de resultaten hiervan worden weergegeven door een "least significant difference" (LSD): het verschil in organische stof waarboven behandelingen significant van elkaar verschilden. In de onderstaande tabellen staat bij significante verschillen een aantal sterretjes dat de mate van significantie weergeeft, te weten: *: $p < 0.1$, **: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$. Voor de berekening van de verschillen in ton C per ha is rekening gehouden met de diepte van de bemonsterde bodemlaag (0-10 cm en 0-30 cm respectievelijk) en met de gemeten dichtheid van de bodem in de desbetreffende

laag. Indien deze significant verschillen tussen behandelingen, is ook per behandeling met de desbetreffende specifieke dichtheid gerekend.

3.4 Opzet van de LTE's

Voor het onderzoek zijn er elf initiatieven uitgekozen om de zes maatregelen te testen. Hieronder wordt een beknopte beschrijving gegeven van elk initiatief. Voor meer details wordt gerefereerd naar bijlage 4.

1. Aanpassingen in het bouwplan Noordelijke klei (Planty Organic – Groningen)

Algemeen en doel proef

In het onderzoek van Planty Organic staat de haalbaarheid van biologische akkerbouw met volledig eigen stikstofvoorziening (middels leguminosen), inzet van (eigen) maaimeststoffen en niet-kerende grondbewerking centraal met als doel dat de hier toegepaste agro-ecologische mechanismen van nut kunnen zijn voor de verduurzaming van de hele landbouw. Meer informatie: Van der Burgt, et al., 2017.

Behandelingen en lengte/objecten

Verschillende bouwplannen worden getest op 4 percelen met in totaal 16 herhalingen. De bouwplannen die voor deze proef worden vergeleken zijn: aardappel 6 jaar rotatie, graan 6 jaar rotatie, aardappel in een praktijkperceel met 4-jarige rotatie en graan in een praktijkperceel met 4-jarige rotatie. Bijlage 4 geeft verdere details rond het beheer van de proefpercelen.

Wie gefinancierd?

De proef wordt uitgevoerd door de initiatiefnemers van Planty Organic 'de Vereniging van biologische boeren in het waddengebied BioWad', in samenwerking met SPNA, Louis Bolk Instituut en Avestura. Financiële bijdragen zijn van provincie Friesland, Provincie Groningen, Rabobank en Ministerie van Economische zaken, Landbouw en Innovatie.

Looptijd eind 2018: 6 jaar.

2. Aanpassingen in het bouwplan, niet-kerende grondbewerking en organische stof input Zuidelijk zand (Bodemkwaliteit op zand – Limburg)

Algemeen en doel proef

In 2011 is op proefboerderij Vredepeel, gelegen op de Zuidoostelijke zandgronden bij Venray het project "Bodemkwaliteit op zand" gestart. Doel van het project is het ontwikkelen van praktisch toepasbare maatregelen die bijdragen aan een duurzaam bodembeheer op zandgrond en voldoende economisch perspectief geven aan de teelt van akkerbouw-, vollegrondsgroente- en voedergewassen op de Zuidoostelijke zandgronden. De ontwikkeling van maatregelen is bedoeld voor zowel biologische als

gangbare bedrijven en is gericht op organisch stofbeheer en grondbewerking. Het project is een voortzetting van eerdere projecten/onderzoeken. Een verslag van een deel van het onderzoek is beschikbaar (de Haan et al., 2017a, de Haan et al., 2017b).

Behandelingen en lengte/objecten

Er worden verschillende maatregelen en combinaties van maatregelen (organische stof input, grondbewerking, bouwplan en combinaties) vergeleken in 4 herhalingen op 1 perceel. Daarnaast wordt de relatief extensieve vruchtwisseling in Bodemkwaliteit op zand vergeleken met een intensieve vruchtwisseling op 2 andere percelen van het proefbedrijf. Bijlage 4 geeft verdere details rond het beheer van de proefpercelen.

Wie gefinancierd?

Het project wordt gefinancierd vanuit de PPS Beter Bodembeheer door het ministerie van EZ, stichting Proef & Selectie en stichting STOP/SAF. De uitvoering en projectleiding zijn in handen van Wageningen University & Research, Businessunit Open Teelten.

Looptijd eind 2018: behandelingen laag en standaard 14 jaar, grondbewerking en compost 8 jaar, en vergelijking met bouwplan op praktijkbedrijven 4 en 5 jaar.

3. Niet kerende grondbewerking Centrale klei (BASIS - Flevoland)

Algemeen en doel proef

In 2009 is het project BASIS van start gegaan op de prof. Broekemahoeve te Lelystad. In het onderzoek wordt gekeken naar de effecten van niet kerende grondbewerking (NKG) in vergelijking met de standaard grondbewerking ploegen in het najaar zoals gebruikelijk op de klei/zavelgronden in Nederland. Doel van het project is het ontwikkelen van praktisch toepasbare maatregelen die bijdragen aan een duurzaam bodembeheer op klei- en zavelgrond en voldoende economisch perspectief geven aan de akkerbouw- en vollegrondsgroentebedrijven op deze grondsoort. Een verslag van een deel van het onderzoek van de periode 2009-2016 is beschikbaar (Van Balen en Haagsma, 2017).

Behandelingen en lengte/objecten

Er worden drie grondbewerkingsystemen vergeleken in 4 herhalingen op 1 perceel: ploegen, NKG met woelen, NKG zonder woelen. Bijlage 4 geeft verdere details rond het beheer van de proefpercelen.

Wie gefinancierd?

Het project wordt gefinancierd vanuit de PPS Beter Bodembeheer door het ministerie van EZ. De uitvoering en projectleiding zijn in handen van Wageningen University & Research, Businessunit Open Teelten.

Looptijd eind 2018: 10 jaar.

4. Niet kerende grondbewerking en Organische stof input Veenkoloniën - Drenthe

Algemeen en doel proef

In 2013 is op proefboerderij 't Kompas, gelegen op de Noordoostelijke dalgronden bij Valthernmond, het project 'Bodemkwaliteit Veenkoloniën' gestart. Het project heeft tot doel het ontwikkelen van praktisch toepasbare maatregelen die bijdragen aan een duurzaam bodembeheer in de Veenkoloniën waarbij de (financiële) opbrengsten van telers in deze regio verbeteren en wordt bijgedragen aan het vervullen van andere maatschappelijke (ecosysteem) diensten van de bodem (klimaatadaptatie/mitigatie). Diverse maatregelen rond organisch stofbeheer, niet-kerende grondbewerking, bodemvruchtbaarheid, beheersing van bodemgebonden ziekten en plagen en groenbemesters worden in systeemverband onderzocht in een traditionele Veenkoloniale vruchtwisseling. Rapportage van deze proef is in voorbereiding.

Behandelingen en lengte/objecten

Er worden drie verschillende maatregelen inclusief combinaties van maatregelen (Organische stof input, grondbewerking en combinatie) onderzocht in 4 herhalingen op 1 perceel. Bijlage 4 geeft verdere details rond het beheer van de proefpercelen.

Wie gefinancierd?

Het project wordt gefinancierd vanuit de PPS Beter Bodembeheer door het ministerie van EZ. De uitvoering en projectleiding zijn in handen van Wageningen University & Research, Businessunit Open Teelten.

Looptijd eind 2018: 5 jaar.

5. Organische stof input Centrale klei (Mest als Kans - Flevoland)

Algemeen en doel proef

Op het Mest Als Kans-proefveld te Lelystad loopt sinds 1999 een bemestingsproef. In dit langjarige experiment wordt het effect van 13 verschillende bemestingsstrategieën op de bodemkwaliteit en het gewas onderzocht. De hypothese is dat de bemestingsstrategie met de hoeveelheid en kwaliteit van de organische stof op de lange termijn de bodemkwaliteit bepalen evenals het opbrengend vermogen van de grond. Onderzoeksvragen:

- Wat is de impact van de hoeveelheid en kwaliteit van de organische stof op de lange-termijn bodemvruchtbaarheid om deze op peil te houden of te verbeteren;

- Welk type en samenstelling van organische stof aanvoer past bij welke ecosysteemdienst waaronder de productiestabiliteit.

Behandelingen en lengte/objecten

De proef is aangelegd in de vorm van een gewarde blokkenproef met 13 bemestingsvarianten in vier herhalingen. De bemestingsstrategieën zijn daarbij: (i) bemesting voornamelijk gericht op het voeden van de planten zoals met minerale meststof en drijfmest; (ii) Bemesting voornamelijk gericht op het voeden van de bodem zoals met groencompost, GFT-compost en natuurcompost en (iii) Bemesting gericht op het voeden van zowel de planten- alsook de bodem: pluimveemest, een combinatie van GFT&drijfmest en potstalmest. De proef is opgenomen in de vruchtwisseling van het groenteteeltbedrijf. In de vruchtwisseling van het perceel zijn vanaf 2011 groenbemesters opgenomen. Bijlage 4 geeft verdere details rond het beheer van de proefpercelen. In de loop der jaren zijn diverse publicaties verschenen over de resultaten: Koopmans en Bloem 2018; Bokhorst et al. 2008; Zanen et al. 2008; Opheusden et al. 2012, Luppa 2018.

Wie gefinancierd?

De proef kende diverse financiers met de jaren waaronder Het Ministerie van LNV, Rabobank Nederland, Triodos Bank, Vereniging van Afvalbedrijven (VA). Vanaf 2017 vindt een evaluatie van de proef plaats vanuit de PPS Beter Bodembeheer. De uitvoering en projectleiding zijn in handen van het Louis Bolk Instituut.

Looptijd eind 2018: 20 jaar.

6. Leefijd van grasland Noordelijke klei (Goud van Oud - Friesland)

Algemeen en doel proef

Het project Goud van Oud streeft naar een groter aandeel oud grasland op melkveebedrijven en doet dit door onderzoek te doen naar de voor- en nadelen van oud grasland, waarbij oud grasland zo lang mogelijk in productie wordt gehouden. Mogelijke voordelen oud grasland zouden o.a. kunnen zijn:

- Minder vaak graslandvernieuwing nodig
- Hogere (bodem)biodiversiteit
- Beter weerbare bodem, beter bestand tegen droogte en natte omstandigheden
- Bijdrage klimaat (meer organische stof in de bodem legt CO₂ vast)

Hoofdvraag bij dit alles is: hoe houd je (oud) grasland 'in de benen'? Hiertoe is een proef op 10 praktijkbedrijven ingericht om het mechanisme van oud grasland beter te begrijpen.

Metingen worden uitgevoerd op jong en oud grasland om os, bodembiodiversiteit, beworteling, nutriëntenbenutting, botanische samenstelling, water regulatie en

indringingsweerstand te vergelijken. Verschillende artikelen zijn in voorbereiding binnen een promotietraject.

Behandelingen en lengte/objecten

Project is gestart in 2014. Op 10 praktijkbedrijven zijn zowel een jong en een oud graslandperceel geselecteerd. Op elk perceel is de bodemkwaliteit uitgebreid gemeten in 2014. Daarnaast is een stikstoftrap aangelegd: 300 kg N – 150 kg N – 0 kg N. Deze is één jaar gehandhaafd. Bijlage 4 geeft verdere details rond het beheer van de proefpercelen.

Voor metingen in het project Slim Landgebruik in 2018 is gemeten op dezelfde locaties als in 2014. Hiervoor zijn de veldjes die in 2014 niet bemest zijn gekozen. In de jaren tussen 2014 en 2018 zijn deze veldjes mee genomen in de reguliere bedrijfsvoering (normaal bemest en beheerd).

Wie gefinancierd?

LTO Noord fondsen, provincies Fryslân en Groningen.

Looptijd eind 2018: 0 jaar, 9-19 jaar (gemiddeld 14) en >20 jaar (gemiddeld 26) respectievelijk.

7. Leeftijd van grasland Zuidelijk zand (Carbon Valley - Brabant)

Algemeen en doel proef

Het project Carbon Valley heeft het management van organische stof op melkveehouderij bedrijven centraal staan. Binnen dit project zijn er een aantal pijlers waaronder het verhogen van de leeftijd van het grasland. Onder grasland vindt een hoge aanvoer van organische stof plaats door de gewasresten boven en ondergronds. Daarnaast is in grasland de afbraak van organische stof laag. Dit maakt het verlengen van de leeftijd van grasland en het voorkomen van scheuren een zeer effectieve maatregel om organische stof op te bouwen. Om de waarde organische stof in zijn algemeenheid en specifiek van het verlengen van de leeftijd van graslandpercelen te meten en te illustreren is er in navolging van eerdere experimenten een proef aangelegd bij een 7-tal boeren waarvan de perceelhistorie bekend was.

Behandelingen en lengte/objecten

De proef ligt verspreid rondom de Loonse en Drunense duinen op een 7 tal locaties bij verschillende ondernemers. De behandelingen zijn oud grasland >15 jaar, middeloud grasland 5-15 jaar, jong grasland <5 jaar en bouwland. De behandelingen zijn op alle locaties waar mogelijk aangelegd, in 6 locaties is de volledige set gemeten op de 7e locatie alleen oud grasland tegenover bouwland. Binnen de proef zijn er verschillende

bodem fysische en chemische eigenschappen bepaald naast ook bepaling van de afbraaksnelheid van organische stof (Eekeren et al., 2018). Bijlage 4 geeft verdere details rond het beheer van de proefpercelen.

Wie gefinancierd?

De proef wordt uitgevoerd door Louis Bolk Instituut i.s.m. Stichting de Duinboeren en streekhuis het Groene Woud De proef is in 2012-2015 gefinancierd door Provincie Noord Brabant, AgriFoodCapital.

Looptijd eind 2018: 0 jaar, 1-3 jaar (gemiddeld 1.5), 4-6 jaar (gemiddeld 5), en >10 jaar (gemiddeld 13) respectievelijk.

8. Diversiteit grasland Noordelijke klei (Koeien en Kruiden - Friesland)

Algemeen en doel proef

De proef met graskruidenmengsels op de Dairy Campus is onderdeel van het project Koeien en Kruiden. Het doel van de proef is om het effect van kruiden op de opbrengst, voederwaarde, bodem en het insectenaanbod voor weidevogels te bepalen.

Behandelingen en lengte/objecten

In september 2017 zijn drie verschillende mengsels ingezaaid. Een kuikenlandmengsel met kruiden die insecten aantrekken en als voedsel dienen voor weidevogelkuikens. Een functioneel mengsel waarin kruiden die goed zijn voor weidevogels gecombineerd worden met klavers en kruiden die mogelijk een positief effect hebben op de koegezondheid. En als laatste een traditioneel BG3 mengsel (Engels raagrass) dat wordt gebruikt als controle. Daarnaast wordt in de proef ook gekeken naar het effect van graslandbeheer: verschillende combinaties van wel of geen uitgestelde maaidatum en bemestingsniveau. Voor metingen in het project Slim Landgebruik is gekozen voor management B3 (geen uitgestelde maaidatum, drijfmestgift van 17m3 per ha + 130 kg N uit KAS per ha. Bijlage 4 geeft verdere details rond het beheer van de proefpercelen.

Wie gefinancierd?

De provincie Fryslân, het Ministerie van Economische Zaken, het Dairy Campus Innovatiefonds, SNN en het Centre of Expertise Agrodier zijn financiers.

Looptijd eind 2018: 1 jaar.

9. Diversiteit grasland Zuidelijk zand (Soortenrijk grasland - Limburg)

Algemeen en doel proef

In april 2018 is in Kelpen-Oler, in de buurt van Weert, een proef aangelegd met verschillende graskruidenmengsels. Het doel van de proef is om na te gaan wat de potentie is van productief kruidenrijk grasland als alternatief voor monocultuur Engels raaigras. M.b.t. het beheer van graskruidenmengsels wordt nagestreefd het management zo veel mogelijk aan te laten sluiten op gangbaar management van een melkveebedrijf. Dit om een representatief beeld te krijgen van de potentie en omdat het perceel waar de proef aangelegd is onderdeel is van een praktijkbedrijf. De proef loopt tot eind 2019, insteek is om proef aan te houden tot 2024.

Behandelingen en lengte/objecten

In totaal zijn er vijf verschillende behandelingen in vier herhalingen aangelegd. Van de vijf behandelingen zijn er drie productieve/functionele kruidenrijke mengsels van twee verschillende zaadleveranciers. Ook is er een variant aangelegd met een meer extensieve insteek en waar verschillende grassen voor een meer open zode moeten zorgen. De vijfde behandeling is een controle met alleen blijvend grasland.

Wie gefinancierd?

Gefinancierd vanuit POP3 provincie Limburg.

Looptijd eind 2018: 1 jaar.

10. Grondbewerking in mais Centrale klei (Duurzame maisteelt - Flevoland)

Algemeen en doel proef

In dit project wordt de traditionele grondbewerking, zoals ploegen of spitten, vergeleken met een aantal varianten met mindere grondbewerking (niet kerende grondbewerking (NKG) met woelen en frezen, direct zaai zonder grondbewerking, zaai in een gefreesde strook in een grasmat of een groenbemester, en permanente ruggenteelt). Doel van het onderzoek is of de opbrengst op peil kan worden gehouden en tegelijkertijd de bodemkwaliteit verbeterd kan worden met eerder genoemde maatregelen. Voor meer informatie Huiting et al., 2016; Riemens et al., 2017.

.

Behandelingen en lengte/objecten

De maatregel mais in grasstroken wordt onderzocht in 3 herhalingen op 1 perceel. Hierbij worden drie verschillende vormen van grondbewerking in mais toegepast: Ploeg, strokenfrees en strokenwoel.

De maatregel mais in grasstroken wordt onderzocht in 3 herhalingen op 1 perceel.

Wie gefinancierd?

De proef wordt uitgevoerd door Wageningen University & Research Louis Bolk Instituut met financiële steun van het ministerie van Economische zaken en TKI Agri&Food

Looptijd eind 2018: 10 jaar.

11. Grondbewerking in mais Zuidelijk zand (De Moer - Brabant)

Algemeen en doel proef

De maisproef op zandgrond in De Moer (Noord-Brabant) heeft als doel het effect van verminderde grondbewerking en aangepaste teeltsystemen te testen op bodemkwaliteit, waaronder organische stof en N-dynamiek, en gewasopbrengst. Dit is van belang voor de ontwikkeling van teeltsystemen in de veehouderij die ondanks klimaatverandering en beperking van bemestingsruimte toch productief blijven en daarnaast bijdragen aan milieukwaliteit (minder nitraatuitspoeling) en biodiversiteit.

De proef is onderdeel van een netwerk van drie maisproeven met gelijksoortige doelstellingen: Lelystad (Flevoland, klei), Rolde (Drenthe, zand) en De Moer.

Behandelingen en lengte/objecten

De proef ligt aan de rand van de Loonse en Drunense duinen, en is gestart vanuit een graslandsituatie (bij aanvang 4,5 % organische stof in de laag 0-30 cm). De behandelingen zijn ploegen (referentie), niet-kerende grondbewerking (woelers + oppervlakkige zaaibedbereiding, volvelds) en strokenteelt (strokenfrees). De behandelingen zijn in viervoud aangelegd (gewarde blokkenproef). De proef is in 2012 gestart en wordt zo lang mogelijk doorgezet om de effecten op de (middel)lange termijn te kunnen meten. Voor meer informatie: Deru, et al., 2015; Riemens et al., 2017.

Wie gefinancierd?

De proef is in 2012-2015 gefinancierd door het ministerie van Economische Zaken (nu LNV) vanuit een Demonstratieproject en Beleidsondersteunend onderzoek, en in 2016-2019 vanuit de PPS Ruwvoerproductie en bodemmanagement (meerdere financiers), Waterschap de Dommel.

Looptijd eind 2018: 7 jaar

4 Resultaten

4.1 Resultaten van de bodemanalyses

De resultaten in dit hoofdstuk zijn een eerste indicatie van wat er met de zes type maatregelen te bereiken valt, in ton C per ha per jaar aan koolstof dat is vastgelegd. Zoals vermeld in 3.2 zijn de getallen afkomstig uit de C-elementaire analyse. In Bijlage 5 zijn de vernieuwde resultaten van de gloeiverlies metingen van de organische stof weergegeven. Bij het lezen van de resultaten moet men zich realiseren dat het gaat om een momentopname: een gestandaardiseerde meting gedaan in alle proeven op hetzelfde tijdstip. Door het jaar heen vertoont de bodemorganische stof echter een fluctuatie, veroorzaakt door onder andere de input van mest en gewasresten, en afname door mineralisatie (weersafhankelijk).

4.2 Maatregel: aanpassingen in het bouwplan

4.2.1 C-vastlegging in bodems met verschillende bouwplannen.

Tabel 6, 7 en 8 tonen de resultaten van de metingen aan het organische stofgehalte en de verschillen in vastlegging van C in de onderzochte bouwplan-vergelijkingen. Tabel 6 en 7 betreffen de Noordelijke klei. Omdat het hier om verschillende percelen gaat, waar een historisch verschil in organische stofgehalte aanwezig was (bepaald in 2011, voordat de behandelingen gestart zijn), is hiervoor gecorrigeerd. Tabel 6 geeft de verschillen weer van een extensieve, zesjarige rotatie met in 2018 een jaar met aardappel ten opzichte van een intensievere, vierjarige rotatie met in 2018 aardappel. We zien hier dat in de zesjarige rotatie jaarlijks 1.74 ton C per ha per jaar meer is vastgelegd gedurende de looptijd van de proef (7 jaar). Tabel 7 geeft de verschillen tussen dezelfde twee rotaties, maar dan in proefplots waarbij in 2018 een graangewas werd geteeld. Opvallend genoeg zien we hier geen significante verschillen. Een wisselend beeld dus.

Tabel 8 toont de verschillen in het organische stofgehalte en in C vastlegging in de vruchtwisseling van een LTE en twee praktijkpercelen op de zuidelijke zandgronden. Daarbij was de aanname dat de praktijkpercelen intensiever beteeld zouden worden met rooivruchten en/of gewassen met lage organische stofaanvoer dan de LTE, waarin doelbewust naar extensivering van de rotatie was gestreefd maar dit bleek bij de analyse niet het geval te zijn. Beide percelen hebben minder rooivruchten (aardappel, suikerbiet, schorseneer en prei) en een gelijk aantal gewassen met relatief lage organische stofaanvoer (snijmaïs, aardappel, lelie, prei, soja). Bij een ruwe schatting van de totale EOS-aanvoer blijkt dat het perceel aan de Twistweg een 10% hogere en het perceel aan de Jodenpeeldreef een 5% lagere EOS aanvoer heeft dan de LTE Bodemkwaliteit op zand. Dit beeld komt overeen met C vastlegging in de metingen.

Omdat het ook hier om verschillende percelen gaat, is gekeken naar historische metingen om mogelijk de uitgangsverschillen mee te corrigeren. Dit is net als op de andere proeflocatie uitgevoerd. Ook voor deze objecten zien we vervolgens grote wisselende effecten van bouwplan op organische stof. Daarbij heeft het ene perceel met een

intensiever bouwplan en lagere aanvoer van EOS een lagere, en het andere perceel met hogere aanvoer van EOS juist een hogere opbouw van koolstof van -3.16 en +3.02 ton C per ha per jaar, ten opzichte van Vredepeel standaard. De maatregel “extensivering” leidt dus tot een verandering in C-vastlegging van -3.02 tot +3.16 ten opzichte van de twee intensievere bouwplannen. Een van de factoren die daarbij van invloed lijkt te zijn is de hoeveelheid aanvoer van organisch materiaal in de bouwplannen. De effecten lijken echter groter en andere verschillen tussen de bouwplannen spelen ook een rol.

Tabel 6. C-vastlegging in de bodem in een driejarig (intensief) bouwplan en een zesjarig bouwplan vergeleken, meting in een proefobject na aardappel in 2018

Noordelijke klei			
Bouwplan	3 jarige rotatie, 2018 aardappel	6 jarige rotatie, 2018 aardappel	LSD
Organische stof elementair (%)	1.55	2.00	0.308***
ton C/ha		10.42	
ton C/ha per jaar		1.74	

Tabel 7. C-vastlegging in de bodem in een driejarig (intensief) bouwplan en een zesjarig bouwplan vergeleken, meting in een proefobject na graan in 2018

Noordelijke klei			
Bouwplan	3 jarige rotatie, 2018 graan	6 jarige rotatie, 2018 graan	LSD
Organische stof elementair (%)	2.20	2.20	0.308
ton C/ha		0.00	
ton C/ha per jaar		0.00	

Tabel 8. C-vastlegging in de bodem in een relatief extensief bouwplan (Bodemkwaliteit op zand-Limburg) en twee intensievere bouwplannen (perceel Jodendreef en perceel Twistweg), op zuidelijke zandgrond.

Zuidelijk zand				
Bouwplan	Vredepeel standaard	Perceel Jodenpeeldreef	Perceel twistweg 1	LSD
Organische stof elementair (%)	4.45	3.25	5.60	0.908***
ton C/ha BIJ EXTENSIVERING		24.19	-25.24	
ton C/ha per jaar		3.02	-3.16	

4.2.2 Korte discussie

De bovenstaande gegevens tonen dat het bouwplan een groot effect op het organische stofgehalte en de C-vastlegging in bodems kan hebben, zowel in de proef op kleigrond, als in de proef op zandgrond. We zien bovendien dat na het graangewas de verschillen in C-vastlegging kleiner zijn dan na aardappels. Dit kan te maken hebben met de relatief grote input van organisch materiaal tijdens en na afloop van het graangewas.

Het is echter zo dat de verschillen niet altijd dezelfde kant op werken: de vergelijking op zand van een extensiever met twee intensievere bouwplannen toont de ene keer een afname en de andere keer een toename in organische stofgehalte en vastgelegd C. Dit komt waarschijnlijk omdat bouwplanvergelijking zeer veel mogelijke combinaties en behandelingen omvat. Daarnaast kunnen de verschillen ook veroorzaakt zijn door verschillen in de uitgangssituatie en beheer in de afgelopen jaren. Gezien de grootte van de hierboven getoonde verschillen verdient deze maatregel verdere verdieping.

4.2.3 Conclusie

Een ander bouwplan had zowel op klei als op zand in potentie een groot effect op de C-vastlegging in bodems. Verschillen varieerde van positief tot geen of juist achteruitgang in C-vastlegging. Aanpassingen aan het bouwplan zijn er in heel veel mogelijke soorten. Deze maatregel heeft daarom verdere verdieping nodig. De resultaten leiden tot de hypothese dat graan- en gewassen een belangrijke component kunnen zijn in bouwplannen met meer koolstofopslag.

4.3 Maatregel: niet kerende grondbewerking (NKG) in akkerbouwrotaties

4.3.1 C-vastlegging in bodems met NKG in akkerbouwrotaties

Tabel 9 toont de C-vastlegging in een proef met ploegen en NKG op centrale klei. We zien hier geen significantie verschillen in organische stof en C-vastlegging.

Tabel 10 toont verschillen op noordelijke (veenkoloniale) zandgrond, tussen de standaard grondbewerking van spitten (gangbaar in deze regio) en NKG door middel van woelen. Ook hier zien we geen significante verschillen, in dit geval waarschijnlijk veroorzaakt door zeer grote variatie in bodemorganische stof tussen de proefobjecten als gevolg van de veenkoloniale grond (met her en der nog wat veenrelicten). Historische metingen tonen hier ook grote verschillen, zowel tussen als binnen behandelingen.

Tenslotte toont Tabel 11 de verschillen in organische stof en C-vastlegging tussen ploegen en NKG op een zuidelijke zandgrond. Ook deze verschillen zijn niet significant, maar er lijkt een lichte trend tot een afname van bodemorganische stof bij NKG te zijn.

Tabel 9. C-vastlegging in de bodem in een akkerbouwrotatie waarin werd geploegd of NKG door woelen werd gedaan, op centrale kleigrond.

Centrale klei			
Grondbewerking:	Ploegen	NKG	LSD
Organische stof elementair (%)	1.85	1.80	0.131
ton C/ha		-1.12	
ton C/ha per jaar		-0.11	

Tabel 10. C-vastlegging in de bodem in een akkerbouwrotatie waarin werd gespit en NKG werd gedaan door middel van woelen, op veenkoloniale grond.

Veenkoloniën			
Grondbewerking:	Spitten	NKG	LSD
Organische stof elementair (%)	10.70	11.05	10.81
ton C/ha		5.89	
ton C/ha per jaar		1.18	

Tabel 11. C-vastlegging in de bodem in een akkerbouwrotatie waarin werd geploegd en NKG werd gedaan door woelen, op zuidelijke zandgrond.

Zuidelijk zand			
Grondbewerking:	Ploegen	NKG	LSD
Organische stof elementair (%)	4.45	3.90	0.69
ton C/ha		-12.53	
ton C/ha per jaar		-1.57	

4.3.2 Korte discussie

De bovenstaande resultaten zijn enigszins teleurstellend te noemen: de LTE's bestonden ten tijde van de monsternamen respectievelijk 10, 5 en 8 jaar op de centrale klei, in de Veenkoloniën en op de zuidelijke zandgrond. Toch zien we geen significante toename in organische stof door NKG in akkerbouwrotaties. Voor maisrotaties na grasland is dit op klei wel het geval (zie 4.7). Mogelijke verklaringen voor afwezig zijn van significante verschillen in akkerbouwrotaties zijn:

- Dat er bij NKG gedurende de eerste jaren weliswaar niet kerend en ondieper, maar mogelijk vaker bewerkt wordt vanwege onkruidproblematiek.
- Dat de proeven nog niet lang genoeg lopen om tot positieve resultaten te leiden.
- Dat een standaard bouwplan met veel rooivruchten dusdanige verstoring in de bodem veroorzaakt dat dit toename in organische stof tegengaat.
- Dat de vorm van NKG zoals die bij ons gebruikt wordt toch nog te intensief is wat bewerking betreft.

4.3.3 Conclusie

De LTE's met NKG in akkerbouwrotaties, op onze bodemsoorten en met een vruchtwisseling zoals die in ons land gangbaar is, leidden op korte termijn (5-10 jaar) niet tot een toename in organische stofgehalte en C-vastlegging. Dit is anders voor langjarige maisteelt (zie 4.7).

4.4 Maatregel: organische stof input

4.4.1 C-vastlegging in bodems met verschillende bemestingen

Tabel 12 toont het organische stofgehalte en de C-vastlegging in een proef met kunstmest, drijfmest, GFT en vaste rundveemest, op centrale kleigrond in een biologische setting met lage bemestingsniveaus. Alle bemestingen vonden plaats binnen de wettelijke mogelijkheden bij het toedienen van de bewuste mesttypes. We zien hier significantie verschillen in organische stofgehalte en C-vastlegging: de behandeling met vaste rundveemest geeft een verhoging van het organische stofgehalte (gemiddeld 0.17 ton C/ha per jaar extra vastlegging gedurende de afgelopen 20 jaar) ten opzichte van kunstmest. In het meetjaar stond in deze proef graan, en zoals we hierboven in de bouwplaneffecten hebben gezien lijkt graan onderlinge verschillen kleiner te maken. Mogelijk speelt dit mee bij de significantie.

Tabel 13 toont het organische stofgehalte en de C-vastlegging in een proef op veenkoloniale grond, waar we geen significante verschillen zien door de grote variatie in organische stofgehalten tussen proefobjecten, door de zeer grote variatie ($LSD = 10.81\%$). Tenslotte toont Tabel 14 de organische stof in een proef op zuidelijke zandgrond, met een lage input van organische stof (1 ton), een standaard behandeling met drijfmest waarbij 1 ton organische stof per ha meer is toegevoegd, en een behandeling met daarbovenop een extra bovenwettelijke input van 15 ton/ha compost jaarlijks. Hier zien we geen significante verschillen in standaard en lagere bemesting, maar wel een duidelijke trend van

toename in organische stof door toepassing van de compost. Dit leidde tot jaarlijks 1.38 ton C/ha extra in de bouwvoor ten opzichte van standaard drijfmest zonder de compost.

Tabel 12. C-vastlegging in de bodem in een intensieve rotatie waarin langjarig werd bemest met verschillende mestsoorten, op centrale klei.

Centrale klei					
Input mest en compost	NPK kunstmest	Drijfmest	GFT compost	Vaste mest	LSD
Organische stof elementair (%)	1.75	1.70	1.70	1.90	0.11**
ton C/ha		-1.11	-1.11	3.33	
ton C/ha per jaar		-0.06	-0.06	0.17	
ton C/ha/ton OS in bemesting		-0.03	-0.01	0.03	

Tabel 13. C-vastlegging in de bodem in een akkerbouwrotatie waarin langjarig compost en compost met *Tagetes* als groenbemester werd toegepast op Veenkoloniën.

Veenkoloniën				
Input mest en compost	Standaard	Compost	Comp. + Tagetes	LSD
Organische stof elementair (%)	10.70	14.15	8.65	10.81
ton C/ha		58.09	-34.51	
ton C/ha per jaar		11.62	-6.90	
ton C/ha/ton OS in bemesting		1.79	-1.06	

Tabel 14. C-vastlegging in de bodem in een rotatie waarin langjarig 1000 kg effectieve organische stof (laag), 2000 kg effectieve organische stof (standaard) en 2000 kg effectieve organische stof + 15 ton/ha compost werd toegepast op zuidelijk zand.

Zuidelijk zand				
Input mest en compost	Laag	Standaard t.o.v. laag	standaard+compost t.o.v. standaard	LSD
Organische stof elementair (%)	4.75	4.45	4.95	0.69
ton C/ha		-6.82	11.08	
ton C/ha per jaar		-0.48	1.38	
ton C per ha per ton OS in bemesting		0.08	0.13	

4.4.2 Korte discussie

De bovenstaande resultaten tonen dat bemesting in potentie invloed op het bodemorganische stofgehalte kan hebben. Met name vaste rundveemest en compost komen als positief naar voren, met toenames van 0.17 en 0.55 ton C/ha per jaar. Toch meten we dit niet altijd, en variëren de effecten. Dit heeft te maken met variatie in de grond, in ieder geval in de Veenkoloniën, en met de verschillende hoeveelheden toegepaste mest en compost. Om de resultaten beter vergelijkbaar te maken hebben we een extra regel in de bovenstaande tabellen ingevoegd, waarin de jaarlijkse extra vastlegging in ton C per ha is uitgedrukt per ton organische stof in de bemesting. Na deze omrekening zijn de verschillen echter nog steeds aanzienlijk. Dat de verschillen in de proef op centrale kleigrond relatief klein zijn kan liggen aan:

- De intensieve vruchtwisseling die hier plaatsvindt, met zeer veel hak en rooivruchten in de afgelopen jaren;

- Het feit dat juist in 2018 voorafgaand aan de meting graan is verbouwd, wat overall een positief effect op de organische stof in de bodem heeft gehad en de verschillen verkleind kan hebben;
- Het gebruik van hoeveelheden compost die binnen de wettelijke kaders vielen.

De proef op de zuidelijke zandgronden had geen verschil tussen de standaard en de lage bemestingshoeveelheid (niet minder C-vastlegging bij laag), maar wel bij een trend bij toepassing van 15 ton/ha compost. Dit zou erop kunnen wijzen dat:

- Bij grote input de C-vastlegging groter is;
- Het type organisch materiaal dat als input wordt gebruikt hierbij een belangrijke rol speelt.

4.4.3 Conclusie

De LTE's met verschillende input van organische stof tonen dat hier effecten van te verwachten zijn wat betreft C-vastlegging. Hoeveelheid en type organische stof spelen daarbij een rol, in relatie tot grondsoort en bouwplan. Vastgelegde hoeveelheden C varieerden van 0 (kunstmest, drijfmest) tot +1.38 (15 ton compost) ton C per ha per jaar.

4.5 Maatregel: leeftijd van grasland (niet scheuren)

4.5.1 C-vastlegging in bodems met grasland van verschillende leeftijd

Tabel 15 toont het organische stofgehalte en de C-vastlegging in graslanden op noordelijke kleigronden, die een aantal jaar lang niet gescheurd zijn, ten opzichte van een referentie van net ingezaaid grasland (0 jaar oud). We zien dat er een zeer significante toename van organische stof en vastgelegd C is in de bovenste laag (0-10 cm) van de bouwvoor. De toename was het hoogste bij de oudste categorie graslanden (>20 jaar, de gemiddelde leeftijd van de graslanden in deze categorie was 26 jaar). De jaarlijkse vastlegging van C in deze categorie was 2.08 ton C/ha per jaar gedurende de periode dat ze niet gescheurd werden. Bij deze oudste categorie was de jaarlijkse C-vastlegging wel wat lager dan bij graslanden die minder lang niet gescheurd werden. We zien een vergelijkbare trend in de laag 0-30 cm van de bodem met significant meer C in deze laag bij de graslanden die het langst niet gescheurd waren, maar dit verschil lijkt vooral veroorzaakt door de toename in de toplaag van 10 cm, aangezien de totale hoeveelheid C die is vastgelegd in de laag 0-30 cm ongeveer even groot is als de C vastgelegd in 0-10 cm. De toename in organische stof zit dus met name bovenin.

Tabel 16 toont de organische stof opbouw en de C-vastlegging in graslanden op zuidelijke zandgrond, die een aantal jaar lang niet gescheurd zijn. We zien hier een significant verschil ($p < 0.05$) in de laag 0-10 cm, waarbij er meer organische stof en vastgelegd C is bij graslanden die langer dan 10 jaar niet gescheurd zijn. Echter als we kijken naar de jaarlijkse toename, dan was die het grootste in de graslanden van 1-3 jaar oud. Deze was 5.66 ton C/ha per jaar voor de graslanden van 1-3 jaar oud, 2.40 ton C/ha per jaar voor graslanden van 4-6 jaar oud, en 1.87 ton C/ha voor graslanden ouder dan 10 jaar. We zien deze trend

alleen in de laag 0-10 cm van de bodem. De verschillen in de laag 0-30 cm zijn niet significant en tonen geen trend.

Tabel 15. C-vastlegging in de bodem in graslanden van verschillende leeftijd (niet scheuren), op noordelijke kleigrond.

Noordelijke klei					
Leeftijd grasland	Bodemlaag	0 jaar	9-19 jaar	>20 jaar	LSD
Organische stof elementair (%)	0-10 cm	5.90	11.45	13.55	3.62***
ton C/ha			38.6	53.1	
ton C/ha per jaar			2.80	2.02	
Organische stof gloeiverlies (%)	0-30 cm	5.50	6.60	8.50	3.02*
ton C/ha			22.9	62.5	
ton C/ha per jaar			1.67	2.38	

Tabel 16. C-vastlegging in de bodem in graslanden van verschillende leeftijd (niet scheuren), op zuidelijke zandgrond.

Zuidelijk zand						
Leeftijd grasland	Bodemlaag	0 jaar	1-3 jaar	4-6 jaar	>10 jaar	LSD
Organische stof elementair (%)	0-10 cm	3.00	4.20	4.65	6.20	2.10**
ton C/ha			8.49	12.04	24.31	
ton C/ha per jaar			5.66	2.40	1.87	
Organische stof elementair (%)	0-30 cm	3.75	3.90	4.00	3.70	0.94
ton C/ha			3.18	5.47	-1.14	
ton C/ha per jaar			2.12	1.01	-0.09	

4.5.2 Korte discussie

De bovenstaande resultaten tonen dat grasland, zolang het niet gescheurd wordt, een verhoging van organische stof en een vastlegging van C van aanzienlijke grootte geeft. In de LTE op noordelijke kleigrond lijkt de toename na 20 jaar nog steeds aanzienlijk en is er nog geen evenwicht bereikt. In de LTE op zandgrond lijkt de toename in de laag 0-10 cm het grootst, en is deze niet gemeten in de laag 0-30 cm. Het is de vraag hoe dit komt: is hier sprake van een verdunnings-effect door de dikte van de laag, en een relatief grote onnauwkeurigheid in de analysemethode? Of is het C gehalte lager in de bodemlaag 10-30 cm dan bij jong grasland? Metingen per laag van 10 cm in de bodem zouden verder kunnen uitlichten wat de oorzaak is.

4.5.3 Conclusie

De LTE's met verschillende leeftijd van grasland tonen een grote toename van het organische stofgehalte en C-vastlegging in de laag 0-10 cm van de bodem. Als we de hele bouwvoor in beschouwing nemen (laag 0-30 cm) bedroeg deze 1.67 tot 2.38 ton C/ha per jaar op noordelijke kleigrond, en toonde daar na 20 jaar slechts een kleine afvlakking. De toename was echter niet significant in de laag 0-30 cm op de zuidelijke zandgrond.

4.6 Maatregel: diversiteit grasland

4.6.1 C-vastlegging in bodems met graslanden met 0 tot meer dan 15 kruiden

Tabellen 17 en 18 tonen verschillen in het organische stofgehalte en de C-vastlegging in twee LTE's, op noordelijke kleigrond (Tabel 17) en op zuidelijke zandgrond (Tabel 18) die recent zijn ingezet, en waarin graslanden met verschillende diversiteit aan kruiden zijn ingezaaid en kunnen worden vergeleken. Over deze maatregel kunnen we echter nog geen uitspraken doen omdat het vorig jaar het startjaar van deze proeven is geweest. De metingen tonen dan ook geen significante verschillen, maar vormen een goede startmeting.

Tabel 17. Organische stofgehalte en C in de bodem in een recent ingezaaide proef op de noordelijke kleigrond met grasland met 0 tot meer dan 15 kruidensoorten, voor de laag 0-10 cm en voor de laag 0-30 cm.

Noordelijke klei		Bodemlaag	0 kruiden	5 kruiden	>15 kruiden	LSD
Diversiteit grasland						
Organische stof elementair (%)		0-10 cm	6.90	8.20	8.30	1.49
ton C/ha				7.51	8.10	
ton C/ha per jaar				startjaar	startjaar	
Organische stof elementair (%)		0-30 cm	7.05	7.45	7.50	0.74
ton C/ha				6.94	7.80	
ton C/ha per jaar				startjaar	startjaar	

Tabel 18. Organische stofgehalte en C in de bodem in een recent ingezaaide proef op zuidelijke zandgrond met grasland met 0 tot meer dan 15 kruidensoorten, voor de laag 0-10 cm en voor de laag 0-30 cm.

Zuidelijk zand		Bodemlaag	0 kruiden	5 kruiden	>15 kruiden	LSD
Diversiteit grasland						
Organische stof elementair (%)		0-10 cm	3.40	3.40	3.50	0.41
ton C/ha				0.00	0.69	
ton C/ha per jaar				startjaar	startjaar	
Organische stof elementair (%)		0-30 cm	3.45	3.40	3.50	0.30
ton C/ha				-1.04	1.04	
ton C/ha per jaar				startjaar	startjaar	

4.6.2 Conclusie

De bovenstaande metingen vormen een goede startmeting voor deze maatregel.

Verschillen zijn niet significant, en over deze maatregelen is dan ook nog geen uitspraak te doen.

4.7 Maatregel: grondbewerking in mais

4.7.1 C-vastlegging in bodems in maisteelt met verschillende grondbewerking

Tabel 19 toont verschillen in organische stof en C-vastlegging in een proef met maisteelt bij verschillende soorten grondbewerking, op centrale kleigrond. Het ging hier om een

grasland dat in 2009 gescheurd is, en waarbij sindsdien maisteelt is geweest met verschillende soorten grondbewerking. De hypothese hier is dat er voor het scheuren veel organische stof in de bodem zat, en deze gedurende de maisteelt meer of minder gedaald is, afhankelijk van de manier waarop de grond jaarlijks wordt bewerkt. We zien hier dat er significante verschillen in het organische stofgehalte en de hoeveelheid vastgelegd C zijn in de laag 0-10 cm, en in de laag 0-30 cm, waarbij er meer C is vastgelegd/vastgehouden bij woelen dan bij ploegen. Het ging daarbij om 0.55 (laag 0-10 cm) tot 0.69 (laag 0-30 cm) ton C per ha per jaar gedurende de duur van de proef. Het gebruik van een strokenfrees gaf in deze proef geen significante verhoging van bodemorganische stof in vergelijking met ploegen.

Tabel 20 toont verschillen in organische stofgehalte en vastgelegd C in een proef met maisteelt bij verschillende soorten grondbewerking op zandgrond. Bij deze proef ging het om een grasland (leeftijd: >5 jaar) dat gescheurd is in 2012, waarna maisteelt met verschillende grondbewerkingen is ingezet. Ook hier is weer de hypothese dat er voor het scheuren veel organische stof in de bodem zat, en deze gedurende de maisteelt meer of minder gedaald is, afhankelijk van de manier waarop de grond jaarlijks wordt bewerkt. Na zeven jaar bewerken zien we hier een trend in de laag 0-10 cm, waarbij ook hier woelen heeft geleid tot een hoger gehalte aan C in de bodem. Deze trend is in de laag 0-30 cm niet te zien.

Tabel 19. C-vastlegging in de bodem in maisteelt met verschillende grondbewerking, voor de laag 0-10 cm en voor de laag 0-30 cm, op centrale kleigrond.

Centrale klei					
Grondbewerking mais	Bodemlaag	Ploeg	Strokenfrees	woelen	LSD
Organische stof elementair (%)	0-10 cm	3.67	3.80	4.47	0.68**
ton C/ha			0.92	5.54	
ton C/ha per jaar			0.09	0.55	
Organische stof elementair (%)	0-30 cm	3.40	3.53	3.73	0.30**
ton C/ha			2.77	6.92	
ton C/ha per jaar			0.28	0.69	

Tabel 20. C-vastlegging in de bodem in maisteelt met verschillende grondbewerking na grasland dat in 2012 gescheurd is, voor de laag 0-10 cm en voor de laag 0-30 cm, op zuidelijke zandgrond.

Zuidelijk zand					
Grondbewerking mais	Bodemlaag	Ploeg	Strokenfrees	woelen	LSD
Organische stof elementair (%)	0-10 cm	4.15	4.40	5.15	1.09
ton C/ha			1.71	6.82	
ton C/ha per jaar			0.24	0.98	
Organische stof elementair (%)	0-30 cm	4.20	4.30	4.20	0.51
ton C/ha			2.05	0.00	
ton C/ha per jaar			0.29	0.00	

4.7.2 Korte discussie

NKG door woelen in langjarige (10 jaar op klei en 7 jaar op zand) maisteelt na grasland heeft, in tegenstelling tot NKG in akkerbouwrotaties, op kleigrond wel geleid tot een significant hogere C-vastlegging in vergelijking met ploegen. Voor zandgrond zien we een positieve trend in 0-10 cm, maar niet in de laag 0-30 cm. Net als bij de maatregel niet scheuren van grasland zou verder analyse per laag van 10 cm los inzicht in de onderliggende oorzaak kunnen geven.

Dat er bij NKG in mais wel effecten op kleigrond gevonden zijn, duidt erop dat inzet van NKG in verschillende gewassen anders uitpakt. We hypothetiseren dat mais een soort rustgewas is, waarbij de bewerking van de grond beperkt is. Onkruidbestrijding wordt vaak via chemie uitgevoerd. Dit zou de oorzaak van de positievere resultaten in maisteelt kunnen zijn, dus minder dynamiek in de bovengrond waardoor organische stof minder snel afbreekt.

4.7.3 Conclusie

De bovenstaande resultaten tonen dat op kleigrond NKG door woelen ten opzichte van ploegen in maisteelt wel degelijk tot extra vastlegging of behoud van C in de bouwvoor leidt. Bij zandgrond zien we minder duidelijke verschillen. Bij een Ausgangssituatie van een grasland op kleigrond ging het daarbij om 0.69 ton C per ha per jaar.

4.8 Verdichting bepaald met de penetrologger

4.8.1 Hadden de zes maatregelen in de LTE's effecten op de indringingsweerstand in de bodem?

Tabel 21 toont de verschillen, indien aanwezig ($p < 0.05$) in indringingsweerstand in de behandelingen van de LTE's. We zien in een aantal gevallen dat de maatregelen inderdaad een effect op de bodemverdichting hebben. Allereerst zien we dat in de behandelingen met een verschillend bouwplan zowel op de kleilocatie als op de zandlocatie verschillen in indringingsweerstand in de bouwvoor vertonen. Omdat het hier gaat om verschillende percelen, blijft dit een moeilijke vergelijking: mogelijk komen deze verschillen niet puur door het verschil in bouwplan maar door een ander verschil tussen de percelen, zoals grondslag. Toch is het opvallend, dat in beide gevallen (zowel zand als klei) we eigenlijk zien dat een extensiever bouwplan een wat compactere bodem tot gevolg had. Verklaring hiervoor kan zijn minder grondbewerking of dynamiek door bijvoorbeeld rooivruchten. Verder zien we dat op de zandlocatie in de ondergrond (die niet jaarlijks los te maken is door bewerking) het verschil juist andersom is, namelijk een compactere bodem bij een intensiever bouwplan. Ook hier kan verschil in grondslag ook een verklaring van het verschil zijn.

Tabel 21. De gemeten significante verschillen ($p < 0.05$) in de indringingsweerstand in de LTE's, op zand en klei, voor de bovengrond en de ondergrond. (NS = niet significant)

Maatregel	Omschrijving	grondsoort	Indringingsweerstand (MPa)			
			gemiddeld 0-30	maximum 0-30	gemiddeld 30-60	maximum 30-60
Bouwplan	6 jaar	klei	1.1-1.8	2.1-4.0	NS	NS
	3 jaar	klei	0.5-0.9	1.0-1.4	NS	NS
	extensief	zand	1.3	2.3	6.1	NS
	intensivering	zand	0.6-0.8	1.9-2.1	6.4-6.9	NS
NKG	ploegen	klei	1.3	2.0	NS	NS
	NKG	klei	1.4-2.1	2.2-3.7	NS	NS
	ploegen	n. zand	NS	NS	NS	NS
	NKG	n. zand	NS	NS	NS	NS
	ploegen	z. zand	1.3	2.3	4.7	NS
	NKG	z. zand	1.7	3.1	5.4	NS
Org. stof input	Drijfmest	klei	NS	NS	NS	NS
	GFT compost	klei	NS	NS	NS	NS
	Vaste mest	klei	NS	NS	NS	NS
	Compost	zand	NS	NS	NS	NS
Leeftijd grasland	0 jaar	klei	NS	NS	NS	NS
	9-19 jaar	klei	NS	NS	NS	NS
	>20 jaar	klei	NS	NS	NS	NS
	0-jaar	zand	1.4	NS	NS	NS
	1-3 jaar	zand	2.7	NS	NS	NS
	4-6 jaar	zand	3.1	NS	NS	NS
	>10 jaar	zand	3.0	NS	NS	NS
Grondbewerking mais	Ploegen	klei	0.9	NS	NS	NS
	NKG Frees	klei	1.1	NS	NS	NS
	NKG Woelen	klei	1.1	NS	NS	NS
	Ploegen	zand	NS	NS	NS	NS
	NKG Frees	zand	NS	NS	NS	NS
	NKG Woelen	zand	NS	NS	NS	NS

Voor de maatregel niet kerende grondbewerking (NKG) zien we dat in de LTE op klei en in de LTE op zuidelijk zand er een significant verschil is, waarbij NKG in hogere indringingsweerstand in de bouwvoor had dan de behandeling waarin werd geploegd. Dit wil niet zeggen dat de bodemstructuur bij NKG slechter is en planten slechter kunnen wortelen. Ongepubliceerde ervaringen van de proef zijn echter ook dat de NKG-bodem een betere structuur heeft met meer poriën, meer afgeronde aggregaten en een goede doorworteling. In de LTE op zuidelijk zand zien we dit zelfde ook in de ondergrond: een hogere gemiddelde indringingsweerstand bij NKG dan bij ploegen. Dit verschil is begrijpelijk omdat bij ploegen de bodem jaarlijks wordt losgemaakt.

Bij de maatregel leeftijd grasland zien we geen significante verschillen in kleigrond, maar wel voor zandgrond: de indringingsweerstand in de bovenlaag 0-30 cm was lager bij jong grasland, dat recent is bewerkt, en hoger bij ouder grasland, waar dit langer geleden is. Opvallend is dat we dit verschil niet op kleigrond zien, en een nadere bestudering van de cijfers toont dat er hier erg grote verschillen tussen de proefobjecten zijn, met een grote spreiding tot gevolg. De oorzaak hiervan kan de droogte van afgelopen zomer zijn geweest, die geresulteerd heeft in heterogeniteit door o.a. scheuren.

Ten slotte zien we ook een verschil voor de maatregel grondbewerking in mais: op kleigrond zien we een hogere indringingsweerstand bij NKG dan bij ploegen. Op zandgrond geen verschil. De oorzaak hiervan is wederom, in ieder geval gedeeltelijk, de droogte: op zand zien we een in het algemeen veel hogere indringingsweerstand dan in de klei, en zijn de mogelijk aanwezige onderlinge verschillen weggevallen.

4.8.2 Interpretatie en korte discussie

De waargenomen verschillen in indringingsweerstand zijn te verklaren met bewerkingsfrequentie, en het feit dat men bij grondbewerking vooral de laag 0-30 cm losmaakt of dat dit minder frequent gebeurt. Zwart et al. (2011) heeft vuistmaten uit de literatuur voor de indringingsweerstand, en de effecten ervan op wortelgroei op een rij gezet: waarbij 1.5 MPa de laagste waarde is waarbij wortelgroei het moeilijk begint te krijgen, en de bovenwaarde vaak als 3 MPa genomen wordt, hoewel deze bodem- en gewasafhankelijk is. Dit in het achterhoofd houdend, zien we in de laag 0-30 cm dat:

- De maatregel aanpassingen in het bouwplan indringingsweerstand verhoogd hebben van waarden zonder verdichting naar waarden die soms wat compact zijn, in zowel zand als klei;
- NKG de indringingsweerstand verhoogde van waarden die soms compact waren naar waarden die vaak compact waren, in zowel zand als klei;
- De maatregelen leeftijd grasland alleen waarden had die gemiddeld niet compact waren bij 0 jaar oud grasland op zand;
- De maatregel NKG in maisteelt niet tot relevante verandering in verdichting heeft geleid.

De metingen in de ondergrond (laag 30-60 cm) waren, daar waar er verschillen zijn gemeten voor maatregelen, dusdanig hoog dat er sprake was van verdichting in alle behandelingen.

Hierbij moeten we echter twee belangrijke kanttekeningen maken. In de eerste plaats hebben de metingen plaatsgevonden in het najaar van 2018, onder vrij droge omstandigheden en na een extreem droge zomer. Indringingsweerstand hangt samen met het vochtgehalte van de grond: hoe natter, hoe lager de indringingsweerstand. Dit betekent dat we wanneer de metingen in een jaar zonder extreme droogte zouden zijn uitgevoerd, veel lagere en minder relevante waarden zouden hebben gezien. In de tweede plaats zijn metingen van de indringingsweerstand met een penetrologger vrij ongevoelig voor hoeveelheid poriën, poriegrootte en heterogeniteit in de bodem. Dit betekent dat, bijvoorbeeld door NKG, het gemeten verschil op zichzelf niet meteen geïnterpreteerd kan worden als slecht doorlatend, aangezien water en ook wortels poriën en scheuren in de bodem kunnen volgen.

4.8.3 Conclusie

We zien dat een aantal maatregelen hebben geleid tot een verhoging van de indringingsweerstand (NKG, zowel in akkerbouw als in mais, leeftijd grasland verhogen, en

veranderingen in bouwplan). De verschillen treden daarbij meestal op in de bouwvoor, en hebben te maken met bewerkingsfrequentie. Intensievere bouwplannen, ploegen en recent vernieuwd grasland hadden daarbij de laagste indringingsweerstand.

In twee gevallen zagen we een verschil in de ondergrond. Bij intensievere bouwplannen en bij NKG was deze gemiddeld genomen compacter. De behandelingen met extensiever bouwplan en ploegen waren echter eveneens compact en verschillen zijn daardoor niet direct relevant.

4.9 Historische data-analyse

De eerste aanzet tot analyse van de historische data van de lange termijnproeven richtte zich op 'Bodemkwaliteit op Zand', maar in een soort overkoepelende vorm zodat er een aantal algemene overwegingen gemaakt zijn die ook van belang zijn bij de interpretatie van de data van de overige LTE's. Het onderzoek van 'Bodemkwaliteit op Zand' betreft o.a. een vergelijking van gangbaar en biologisch teeltsystemen (zie paragraaf 3.4). Binnen het gangbare systeem worden 2 niveaus van organische stofaanvoer aangehouden. In de 3 systemen vinden bovendien 2 typen grondbewerking plaats: ploegen en NKG. In 2004, wat voor de vergelijking als startjaar kan worden aangehouden, was het organische stof % in het gangbare systeem 3,3% en in het biologische systeem gemiddeld 3,8%. De rotatie in de systemen is hetzelfde: aardappel, conservenerwt, prei, zomergerst, peen, snijmais; zie tabel 22 voor het perceeloverzicht van de teelten in 2011.

Uit de meetgegevens zijn tijdreeksen samengesteld van het organische stof gehalte volgens gloeiverlies en/of NIRS, waarbij zoveel mogelijk gloeiverlies is aangehouden. Het verloop van het OS-gehalte is voor de periode 2011 – 2017 uitgezet in grafieken (Figuur 1). Een eerste indruk is dat er mogelijk sprake is van een jaareffect. Dit kan een gevolg zijn van weersinvloeden, maar ook te maken hebben met de meting (bemonstering, meetmethode, meetfout).

Tabel 22. Teelt in het gangbare en biologische systeem in 2011.

Gangbaar, ploegen en NKG		Biologisch	
Perceel	Teelt in 2011	Perceel	Teelt in 2011
16	5. Suikerbiet	32.1	3. Prei
17	3. Prei	32.2	4. Zomergerst
18	2. Conservenerwt	33.1	6. Snijmais
26	6. Snijmais	33.2	5. Peen
27	1. Aardappel	34.1	2. Conservenerwt
28	4. Zomergerst	34.2	1. Aardappel

Een verschil met de puntmetingen die in 2018 in de voorgaande paragrafen zijn besproken, is dat het steeds mengmonsters betrof van een geheel perceel. Dit sluit aan bij de reguliere grondonderzoek. Een eventueel effect van maatregelen is daardoor direct relevant voor de landbouwpraktijk. Een mengmonster geeft echter een perceelgemiddelde weer, waardoor eventuele veranderingen niet snel tot uiting komen.

Maatregel organische stof-aanvoer

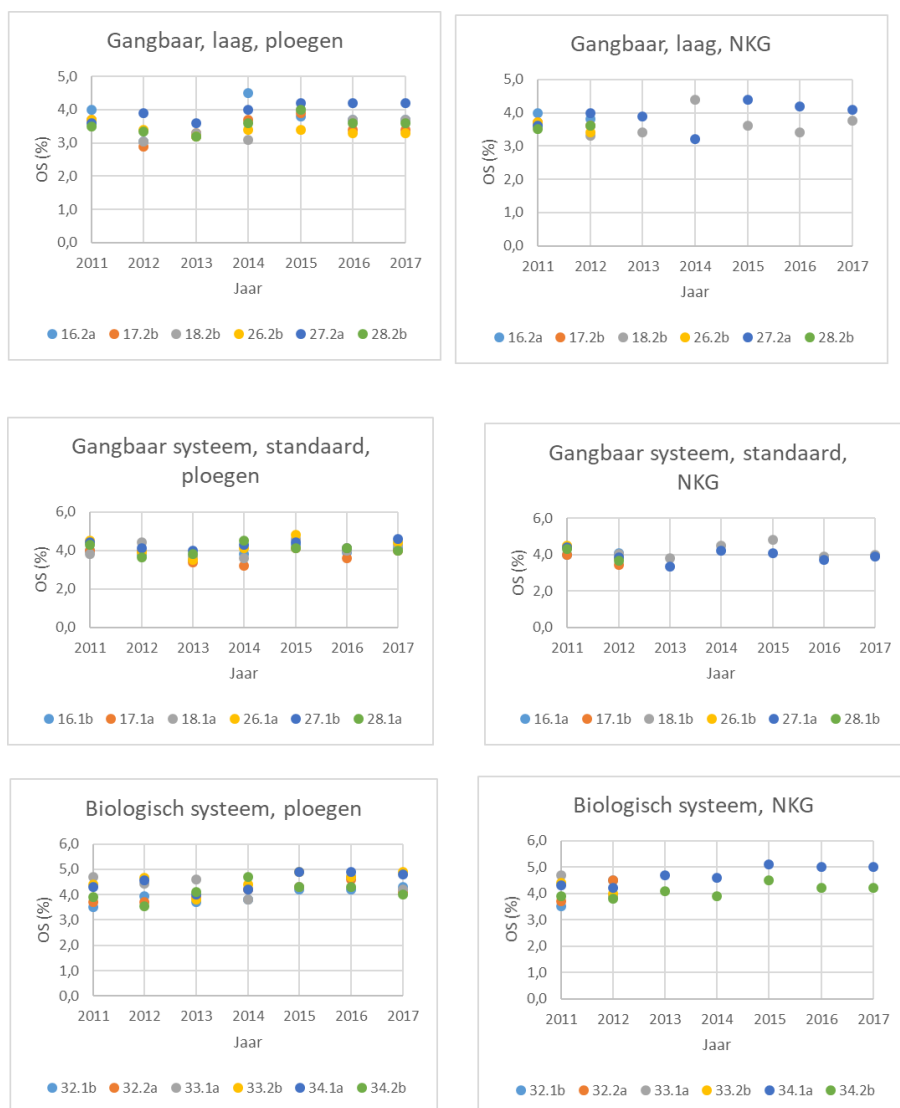
De aanvoer van organische stof kan aanleiding zijn voor een grote spreiding in de organische stofgehalten. Dit is te zien in de 3 linkse grafieken voor de geploegde behandelingen en in de 3 rechtse grafieken voor de NKG-behandelingen. In het gangbare systeem is bij de lage aanvoer de spreiding in organische stof gehalten groter dan bij de standaard aanvoer. De spreiding in organische stof gehalten in het biologische systeem ligt hier tussenin. In absolute zin zijn de organische stof gehalten in het biologische systeem enkele tienden van procenten hoger dan in het gangbare systeem. Een dergelijk verschil tussen gangbaar en biologisch was echter in enkele behandelingen ook in 2004 al aanwezig. In de NKG-behandelingen zijn beperkt meetresultaten beschikbaar. Deze laten evenwel een vergelijkbaar effect zien van de organische stof-aanvoer op spreiding en absoluut organische stof gehalte. Al met al kunnen we stellen, met een klein voorbehoud, dat in het biologische systeem meer koolstof werd vastgelegd dan in de twee gangbare systemen.

Maatregel bodembewerking

Een effect van NKG op het organische stof gehalte komt in de vergelijking met ploegen niet heel duidelijk naar voren. Dit is in onderstaande grafieken te zien in de verschillen tussen links en rechts, voor elk van de 3 behandelingen met organische stof-aanvoer. Over de jaren heen ontlopen tussen ploegen en NKG zowel de spreiding als het absolute organische stof gehalte elkaar niet veel. Toch kan niet zonder meer worden geconcludeerd dat NKG in vergelijking met ploegen geen effect op het organische stofgehalte heeft gehad. Zowel een verschil in organische stofgehalte als in grondbewerking kunnen tot uitdrukking komen in de bulkdichtheid van de grond. Deze is in dit praktijkonderzoek in het verleden echter niet gemeten.

Bovenstaande resultaten en observaties zijn aanleiding voor de volgende overwegingen:

1. Het beoordelen van de C-vastlegging met een tijdreeks biedt voordelen boven de evaluatie aan de hand van een eenmalige bepaling. De theorie over de afbraak en opbouw van organische stof geeft aan dat veranderingen in het organische stofgehalte verlopen volgens een (begrensde) exponentiële curve. De hoeveelheid waarmee het per jaar toe- of afneemt kan dus per jaar verschillen, afhankelijk van het aantal jaren dat is verlopen nadat de verandering werd ingezet. Zowel bij stijgende als bij dalende gehalten zal na verloop van tijd afvlakking plaatsvinden. De veranderingen per jaar zijn dan nog slechts gering. Bij beschouwing van een eenmalige meting van het organische stofgehalte is niet bekend in welke fase op een curve de verandering gaande is. Bovendien spelen in de praktijk vaak meerdere factoren een rol; deze kunnen een tegengesteld effect hebben.



Figuur 1. Verloop in organische stof gehalte in gangbaar en biologisch systeem, van boven naar beneden: behandeling organische stof aanvoer; van links naar rechts: behandeling grondbewerking.

2. De jaar op jaar variatie in de meetresultaten van het organische stof gehalte in de bouwvoor is groot, zowel in het hier beschreven praktijkonderzoek als op praktijkbedrijven. In bovenstaande grafieken blijkt het jaareffect uit het feit dat het patroon in het verloop van het organische stofgehalte hetzelfde is in de verschillende behandelingen. In dezelfde jaren is er sprake van een stijging of een daling in het gehalte. Mogelijke oorzaak van een jaareffect is een verschil in de bemonstering, voorbereiding en/of de laboratoriumanalyse van de grondmonsters. Ook verschillen in de eerdergenoemde bulkdichtheid kan versluierend werken.
3. Verschillen in de meetresultaten kunnen voortkomen uit minieme verschillen binnen de bepaling zelf. Zo is in ander Wagenings onderzoek gebleken dat bij de gloeiverliesbepaling de plaatsing van het grondmonster in de oven het resultaat kan beïnvloeden. Al langer is bekend dat de meetfout in de gloeiverliesmethode relatief

groot is in gronden met een laag (< 5%) organische stofgehalte. Nieuwe methoden zijn in opmars, bijvoorbeeld met NIRS (Near Infra Red Spectroscopy), waarmee bepaling van het organische stofgehalte en/of het koolstof (C)-gehalte mogelijk zijn. De nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van deze metingen is de afgelopen jaren toegenomen. Het praktijkonderzoek zoals Bodemkwaliteit op Zand maakt gebruik van deze nieuwe methoden, soms naast, soms in plaats van de klassieke gloeiverliesmethode. Ook in de landbouwpraktijk kiezen telers soms voor een andere analysemethode, bijvoorbeeld omdat men het bijbehorende advies wil uitproberen. Het probleem dat zich nu voordoet bij het beschouwen van juist een tijdreeks van organische stofdata is dat de tijdreeks kan zijn opgebouwd uit verschillende meetmethoden en/of data van verschillende kwaliteit. Dit bemoeilijkt uiteraard de interpretatie van de tijdlijn. Het kan voorkomen dat niet duidelijk is of een verandering (stijging of daling) kan worden toegeschreven aan de genomen maatregelen, of het gevolg is van de gevolgde analysemethodiek.

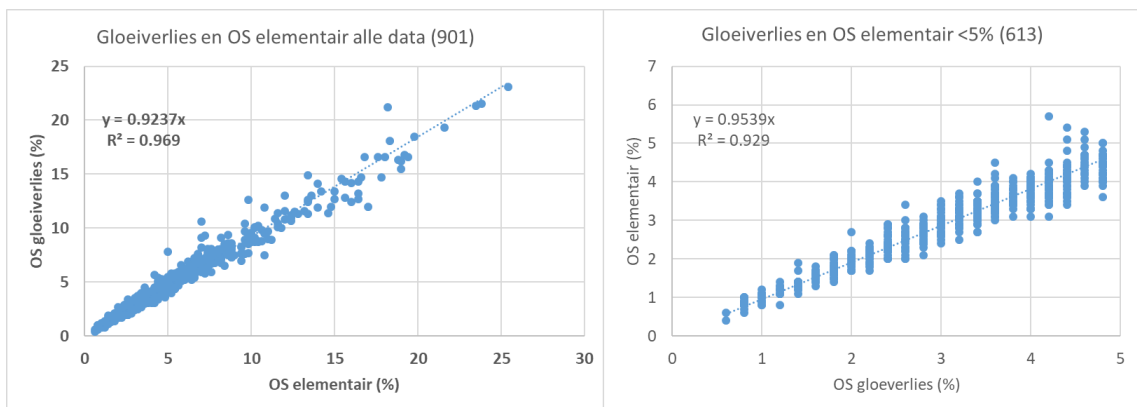
Samenvattend kunnen we stellen dat uit de analyse van historische data blijkt dat voor het doen van uitspraken over koolstofvastlegging als gevolg van landbouwkundig handelen, tijdsreeksen met meerdere metingen (van C en bulkdichtheid) meerwaarde bieden bij inzicht in de resultaten. Van belang is het daarbij dat behandelingen die vergeleken worden tegelijkertijd, met gebruikmaking van dezelfde analysemethodiek, over een langere periode worden bemonsterd en geanalyseerd.

4.10 Correlaties tussen de verschillende analysemethoden

De gegevens in dit hoofdstuk zijn gebaseerd op de C-elementaire analyse van Eurofins. Dit omdat hierin rechtstreeks de hoeveelheid C wordt gemeten en er onzekerheid is en variatie zit in het C gehalte van organische stof (zie ook uitleg in 3.2). Om een bredere koppeling met historische data en praktijkgegevens mogelijk te maken is het echter nodig relaties tussen C-elementair en andere meetmethoden te maken. Dit is zinvol, omdat in het verleden en in de praktijk deze beide andere meetmethoden zeer veel gebruikt zijn/worden. Omdat binnen Slim Landgebruik in zowel de praktijknetwerken als in de LTE's echter steeds met dezelfde bemonstering systematiek ook gloeiverlies en organische stof uit NIRS is geanalyseerd, geeft dit de mogelijkheid om deze analysemethoden van bodemorganische stof met C-elementair te vergelijken voor een groot aantal datapunten. Bij deze vergelijking wordt, net als in de rest van dit verslag, daarbij weer uitgegaan van een C gehalte van 0.5 in de organische stof.

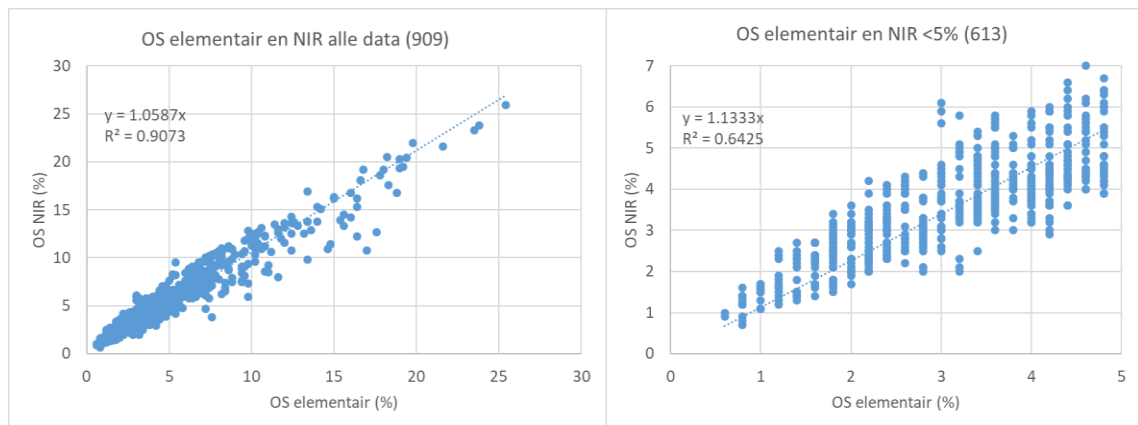
Figuur 2 laat de correlatie zien tussen OS elementair en OS gloeiverlies. Als we alle datapunten uit de metingen (909 analyses in LTE's en praktijknetwerken) in deze correlatie meenemen, zien we een behoorlijk goed verband, met een hellingshoek van 0.92 en een R^2 waarde van 0.97. Dit betekent dat OS uit goeiverlies gemiddeld genomen 8 procent lager ligt dan OS elementair. Het kan ermee te maken hebben dat we gerekend hebben met

een C gehalte van de organische stof van 0.5, terwijl in de literatuur gehalten van 0.55 of 0.58 niet vreemd zijn. Op zichzelf niet verrassend en het bevestigt de keuze voor C-elementair, waarbij we deze onzekerheid wegnemen. Het rechterdeel van Fig. 2 toont de correlatie voor alle data met een OS elementair kleiner dan 5 procent. Dit zijn ruim 600 van de 900 bodems, en we zien dat de correlatie hier nog steeds behoorlijk goed is: OS gloeiverlies geeft hiervoor gemiddeld 5% lagere OS gehalten, en de R^2 waarde is 0.93. We zien (als voorbeeld) dat bij een OS elementair van 3% de bepaling van gloeiverlies aan dezelfde bodem varieerde van 2.3% tot ruim 3.6%. Dit laat de onnauwkeurigheid in de analyses zien, en toont waarom het nodig is te meten aan proeven met herhalingen.



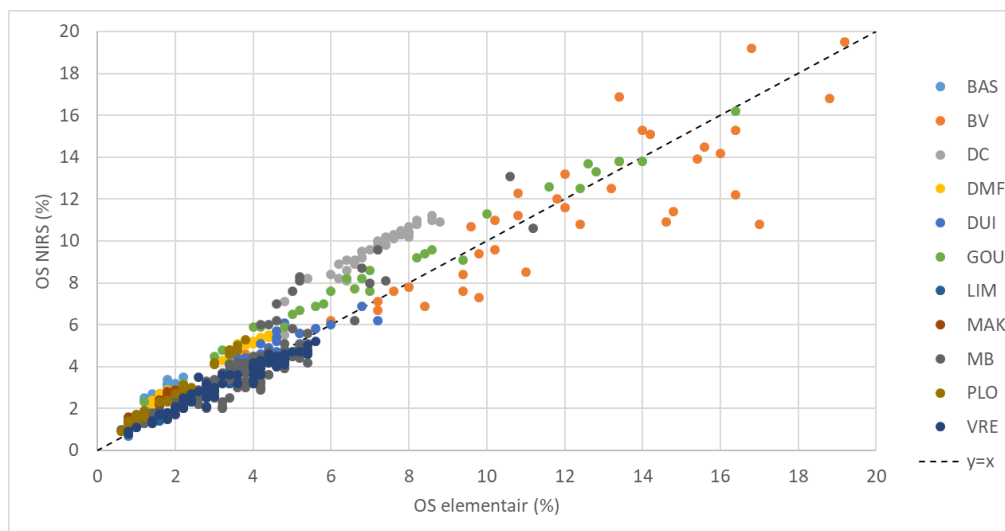
Figuur 2. Correlaties tussen OS elementair en OS gloeiverlies voor alle analyses in de LTE's en praktijknetwerken (links) en voor alle analyses waarbij OS elementair lager was dan 5% (rechts).

Figuur 3 laat de correlatie zien tussen OS elementair en OS NIRS. Als we alle datapunten uit de metingen (909 analyses in LTE's en praktijknetwerken) in deze correlatie meenemen, zien we een redelijk verband, met een hellingshoek van 1.06 en een R^2 waarde van 0.91. Dit betekent dat OS uit NIRS gemiddeld genomen 6 procent hoger ligt dan OS elementair (opvallend, omdat we hierboven zagen dat gloeiverlies juist een wat lager gehalte gaf). Deze correlatie wordt echter voor een behoorlijk deel bepaalde door analyses van bodems met hogere percentages organische stof. Het rechterdeel van Fig. 2 toont namelijk de correlatie voor alle data met een OS elementair kleiner dan 5 procent. Dit zijn ruim 600 van de 900 bodems, en we zien dat de correlatie hier veel minder goed is: NIRS geeft gemiddeld 13% hogere OS gehalten, en de R^2 waarde is slechts 0.64, omdat er sprake is van behoorlijke spreiding in dit deel van de correlatie. We zien bijvoorbeeld dat bij een OS elementair van 3% de bepaling van NIRS aan dezelfde bodem varieerde van 2% tot ruim 5%. Een dergelijke spreiding is zeer groot voor de doelstellingen binnen het project.



Figuur 3. Correlaties tussen OS elementair en OS NIRS voor alle analyses in de LTE's en praktijknetwerken (links) en voor alle analyses waarbij OS elementair lager was dan 5% (rechts).

Figuur 4 toont de correlatie tussen OS elementair en OS NIRS nogmaals, maar nu alleen voor de LTE's. We zien hier dat de verschillende LTE's niet verspreid liggen over de gehele bandbreedte van de relatie. Sommige LTE's hebben een mooie correlatie met weinig spreiding (bv. VRE = Bodemkwaliteit op zand), andere LTE's hebben een grote spreiding (bv. BV = Bodemkwaliteit Veenkoloniën) en nog weer andere LTE's hebben een systematische afwijking van $y=x$ (bv. DC = Diversiteit grasland Noordelijke klei).



Figuur 4. De correlatie tussen OS elementair en OS NIRS voor de LTE's (afkortingen van de namen in de legenda). De stippellijn geeft $y=x$ weer.

Tabel 23. Correlaties per LTE of regio / praktijknetwerk, tussen OS elementair en OS NIRS, en OS elementair en OS gloeiverlies. Het onderste deel van de tabel geeft de gemiddelde hellingshoek en R^2 waarde per bodemtype. R^2 waarden bij 2 of minder datapunten voor een site zijn niet meegenomen (NA in tabel).

Locatie code	Aantal datapunten	Grondsoort	OS elementair & OS NIRS	OS elementair & OS NIRS	OS elementair & OS gloeiverlies	OS elementair & OS gloeiverlies
			Hellingshoek	R^2	Hellingshoek	R^2
Code G	16	Dalgrond	0.81	0.88	0.94	0.91
G	12	Dalgrond	0.93	0.87	0.98	0.90
BV	48	Dalgrond	0.94	0.84	0.91	0.88
MM	16	Dekzand	1.00	0.01	1.03	0.89
VRE	80	Dekzand	0.95	0.94	0.93	0.94
MA	58	Dekzand	0.98	0.90	0.95	0.93
16	8	Dekzand	0.94	0.99	0.91	0.99
DUI	48	Dekzand	1.06	0.92	0.98	0.94
MB	131	Dekzand	1.04	0.82	0.96	0.91
LIM	36	Dekzand	1.03	0.92	0.95	0.97
F	25	Zeeklei	1.18	0.15	0.97	0.97
GOU	32	Zeeklei	1.09	0.93	0.87	0.99
KvD	1	Zeeklei	1.23	NA	0.93	NA
GK	5	Zeeklei	1.16	-0.01	0.86	0.39
DMF	27	Zeeklei	1.32	0.92	0.99	0.94
DC	36	Zeeklei	1.34	0.89	0.98	0.95
JD	2	Zeeklei	1.34	NA	0.98	NA
KV	2	Zeeklei	1.24	NA	0.87	NA
FD	2	Zeeklei	1.46	NA	1.01	NA
CR	2	Zeeklei	1.40	NA	0.96	NA
MAK	32	Zeeklei	1.46	0.92	0.98	0.88
KH	2	Zeeklei	1.39	NA	0.93	NA
EE	2	Zeeklei	1.31	NA	0.87	NA
Z	28	Zeeklei	1.51	0.81	0.97	0.81
PLO	32	Zeeklei	1.38	0.99	0.88	0.98
AR	2	Zeeklei	1.46	NA	0.87	NA
BAS	24	Zeeklei	1.64	0.50	0.92	0.75
MF	72	overig / verschillend	1.08	0.97	0.91	0.96
MKK	119	overig / verschillend	1.14	0.77	0.92	0.93
61	6	overig / verschillend	1.29	0.92	0.96	0.98
MS	2	overig / verschillend	1.24	NA	0.89	NA
Gemiddelden per grondsoort, gewogen naar aantal punten per dataset						
	Aantal datapunten	Grondsoort	OS elementair & OS NIRS	OS elementair & OS NIRS	OS elementair & OS gloeiverlies	OS elementair & OS gloeiverlies
			Hellingshoek	R^2	Hellingshoek	R^2
	76	Dalgrond	0.91	0.85	0.93	0.89
	377	Dekzand	1.01	0.85	0.95	0.93
	256	Zeeklei	1.36	0.77	0.94	0.90
	199	Overig	1.12	0.85	0.92	0.94

Het punt, dat de correlaties anders uitpakken voor de verschillende LTE's maakt een analyse per locatie of regio nodig (Tabel 23). Hier zien we dat de correlatie tussen OS elementair en

OS gloeiverlies structureel vrij goed is (hoge R^2 waarden) en dat OS gloeiverlies steeds 5 % tot 8 % lager is dan OS elementair. Er zijn geen duidelijke relaties voor bodemtypen of sites. De correlatie tussen OS elementair en OS NIRS is van wisselende kwaliteit. Voor sommige locaties is de correlatie ronduit afwezig (zie zeer lage R^2 waarden). We zien een grotere spreiding. Bovendien is er een duidelijk effect van bodemtype: voor zeekleigronden valt NIRS 36% hoger uit dan OS elementair. Omdat gloeiverlies lager uitvalt, is dit zeer opvallend. Ook is de spreiding voor zeekleigronden groter dan voor de andere bodemtypen.

We concluderen dat de correlatie tussen OS elementair en OS gloeiverlies over het algemeen goed is (hoge R^2 waarde) en dat, bij aanname van 50% C in de bodemorganische stof, de OS gloeiverlies 5 % tot 8 % lager is dan de OS elementair. We zien in deze correlatie geen duidelijke proef of regio specifieke effecten. De correlatie tussen OS elementair en OS NIRS daarentegen is toch wat minder goed (lagere R^2 waarden). Deze is voor Dalgrond en Dekzand gemiddeld 0.85, maar voor zeeklei slechts 0.77, met daarbij enkele proeven / regio's met zeer lage R^2 waarde (matige tot slechte correlatie). Bovendien blijkt OS NIRS ten opzichte van OS elementair (en dus in nog grotere mate t.o.v. OS gloeiverlies) een bodemtype specifieke afwijking te vertonen, waarbij de OS NIRS voor dalgronden gemiddeld 9% lager was dan de OS elementair (vergelijkbaar met OS gloeiverlies), bij zandgronden 1% hoger, maar bij zeeklei gronden gemiddeld 36% hoger dan de OS elementair.

5 Beperkingen en ontbrekende analyse resultaten

De meetdata betreffen de verschillen in LTE behandelingen die op het moment van meten, meestal na vele jaren, zijn opgetreden. Deze houden mogelijk onvoldoende rekening met de variatie tussen objecten bij de start van de experimenten, zeker wanneer kleine verschillen in de behandelingen worden aangetroffen. Hiervoor kan mogelijk verdere historische analyse helpen. Voordeel van de huidige meting is wel dat op een gestandaardiseerde wijze en volgens een vast protocol, en met dezelfde chemische analyses, een vergelijking kon worden gemaakt tussen objecten en over meerdere LTE's. Het aantal waarnemingen per maatregel en grondsoort is beperkt. Een tot twee objecten per maatregel per grondsoort zijn bemeten, weliswaar in herhalingen. Dit geeft slechts een eerste indicatie van de effecten. Daarnaast zijn ook slechts één tot twee uitvoeringsvarianten per maatregel geselecteerd. Maatregelen kunnen op veel verschillende wijzen worden uitgevoerd met een breed effect in resultaat qua koolstofvastlegging. Daarnaast is (zoals bouwplan) er ook een verstrengeling is met maatregelen die direct samenhangen met gewassen binnen een bouwplan.

Meer meten in de specifieke maatregelen is nodig met meer percelen om meer zekerheid te krijgen over effecten. Ook kan onderzoek gericht worden op de variatie binnen een perceel.

De discussie en conclusies geven slechts beperkt zicht op wat de meest perspectiefvolle maatregelen zijn maar geven meer aan of de resultaten van deze maatregelen de conclusie uit Lesschen et al. (2012) en een update daarvan ondersteunen. De resultaten zijn een indicatie of we met bodemmaatregelen de gewenste CO₂-reductie kunnen realiseren. Een belangrijkste aanbeveling is dan ook dat meer metingen nodig zijn om een goed beeld van de effecten te krijgen.

6 Discussie en conclusies

De doelstelling van de evaluatie van de lopende LTE's is het kwantitatief bepalen wat de zes geselecteerde maatregelen kunnen bijdragen aan C-vastlegging onder Nederlandse condities. De samenvatting van de in deze studie gemeten resultaten staan in Tabel 24, in vergelijking met de potentiële C-vastlegging die in de literatuur beschreven werd.

Tabel 24. Samenvatting van de in deze studie gemeten resultaten, per maatregel en bodemtype, en vergelijking met de getallen voor C-vastlegging uit Lesschen et al., 2012 en Koopmans et al., 2018. Significanties worden aangeduid met sterretjes.

Maatregel	Omschrijving	Grondsoort		ton C/ha/jaar	ton CO ₂ /ha/jaar	Literatuur ton CO ₂ /ha/jaar
Bouwplan	3 → 6 jaar	Klei	0-30	0.00-1.74***	0.0-6.4***	1.2-1.8
	Extensivering	Zand	0-30	-3.02-3.15***	-11.1-11.6***	1.2-1.8
Grondbewerking akkerbouwrotatie	NKG woelen	Klei	0-30	-0.11	-0.4	0.6
	NKG woelen	Veenkoloniën	0-30	1.18	4.3	
	NKG woelen	Zand	0-30	-1.57	-5.8	1.7
Organische stof input	Drijfmest	Klei	0-30	-0.06	-0.2	0
	GFT compost	Klei	0-30	-0.06	-0.2	0.4-2.0
	Vaste mest	Klei	0-30	0.17**	0.6**	1.4
	Compost	Veenkoloniën	0-30	11.62	42.6	0.4-2.0
	Compost + tagetes	Veenkoloniën	0-30	-6.90	-25.3	
	Drijfmest	Zand	0-30	-0.48	-1.8	0
	Extra groencompost	Zand	0-30	1.38	5.1	0.4-2.0
Leeftijd grasland	9-19 jaar	Klei	0-10	2.80***	10.3***	4.1
	9-19 jaar	Klei	0-30	1.67	6.1	
	>20 jaar	Klei	0-10	2.02***	7.4***	2.6
	>20 jaar	Klei	0-30	2.38*	8.7*	
	4-6 jaar	Zand	0-10	2.40	8.8	4.1
	4-6 jaar	Zand	0-30	1.01	3.7	
	>10 jaar	Zand	0-10	1.87**	6.9**	2.6
	>10 jaar	Zand	0-30	-0.09	-0.3	
Grondbewerking mais	NKG Frees	Klei	0-30	0.28	1.0	7.2
	NKG Woelen	Klei	0-30	0.69**	2.5**	
	NKG Frees	Zand	0-30	0.29	1.1	7.2
	NKG Woelen	Zand	0-30	0.00	0.0	

Allereerst aanpassingen in het bouwplan voor de Akkerbouw. Deze maatregel kan vele vormen hebben, en is in de LTE's vooral ingevuld met een extensievere bredere vruchtwisseling in vergelijking met een intensievere meer gangbare vruchtwisseling. Zowel op zand als op klei is het potentieel voor deze maatregel groot, in sommige gevallen zelfs veel groter dan de waarden uit de literatuur, echter er zit veel variatie in de resultaten van verschillende behandelingen en de richting van het effect: een extensievere rotatie leidde in het ene geval tot extra C-vastlegging en in de andere vergelijking juist tot minder C-vastlegging. De LTE's laten zien dat dit voor een deel te wijten is aan het gewas in het jaar dat is gemeten. Deze maatregel verdient zeker verdere verdieping.

NNKG door woelen in de akkerbouw had in de LTE's waarin dit plaatsvindt in ons land geen positieve effecten op C-vastlegging in de bodem, zowel op zand als op klei. Dit is niet in overeenstemming met hetgeen soms in de literatuur gevonden wordt. We kunnen speculeren waarom dit het geval is:

- Het heeft waarschijnlijk te maken met onze bodems, waarin het startniveau van organische stof over het algemeen vrij hoog is;
- Onze intensieve bouwplannen met veel rooivruchten die behoorlijk wat dynamiek in de bovenlaag van de grond veroorzaken;
- Hoge standaarden wat betreft onkruidbestrijding veroorzaakt dynamiek in de bovenlaag van de bodems;
- Er is géén sprake van 'conservation tillage' waar in de literatuur dikwijls naar verwezen wordt: oftewel slechts heel ondiep en zeer minimale bodembewerking voornamelijk bij de teelt van maaigewassen als graan en mais in combinatie met maximale bodembedekking. Dit wordt wel beschreven in de literatuur, maar voor de Nederlandse landbouw met een groot aandeel wortel- en knolgewassen lijkt dit nauwelijks realistisch en het wordt daarom niet of nauwelijks toegepast.

NKG door woelen in langjarige maisteelt na grasland had op kleigrond echter wel een hogere vastlegging van C tot gevolg. Oorzaak hiervan is waarschijnlijk een verschil in afbraak van bodem organische stof, ten minste gedeeltelijk vastgelegd in de graslandfase voorafgaand aan de mais, door minder bodemturbulentie. Het effect is aanzienlijk. Deze LTE lijkt aanzienlijk meer op het hierboven beschreven 'conservation tillage'.

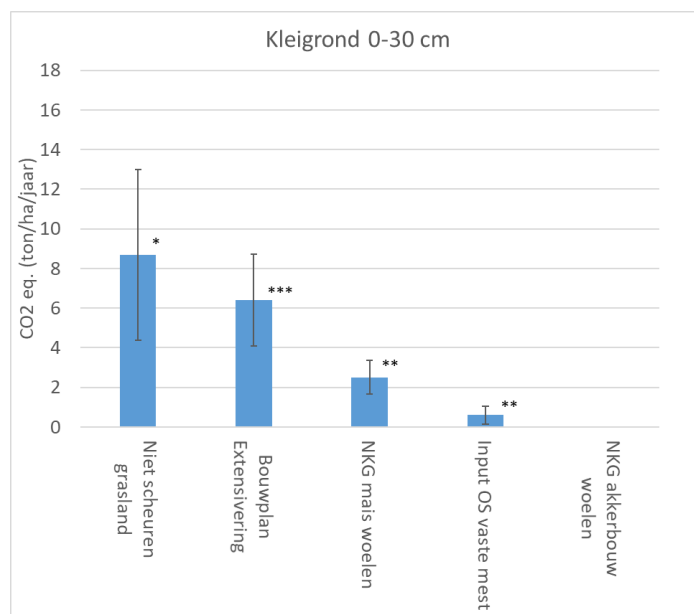
We verwachten bij NKG in de eerste jaren, zeker in een akkerbouwsysteem en op zandgrond, een hogere onkruid druk. Dit kan er toe leiden dat er vaker geschoffeld moet worden, wat effecten op C vastlegging verkleint. Er valt dan ook te verwachten dat er voor de maatregel NKG een relatie bestaat met gewasbeschermingsmiddelen. In de LTE's met maisteelt werden deze ingezet voor onkruidbestrijding. In algemene zin kunnen concluderen dat het bouwplan in interactie lijkt met mogelijk effecten van grondbewerking.

Organische stof input van met name vaste mest op klei (significant) en van compost op zand (trend) gaven in de LTE's toename in C-vastlegging in de bouwvoor. Voor klei waren deze lager dan in de literatuur. Dit komt door een intensief bouwplan en relatief lage hoeveelheden bemesting die zijn toegepast. Op zandgrond gaf een grotere (buitenwettelijke) hoeveelheid compost ook een trend van grotere toename in C-vastlegging, meer dan beschreven in de literatuur. Dit laat de potentie van deze maatregel zien. Men moet zich echter realiseren dat de mogelijkheden om (stabiele) organische meststoffen aan te voeren beperkt zijn binnen de wetgeving en beschikbaarheid van producten, en aanvoer in grote hoeveelheden ongewenste bijeffecten kan hebben.

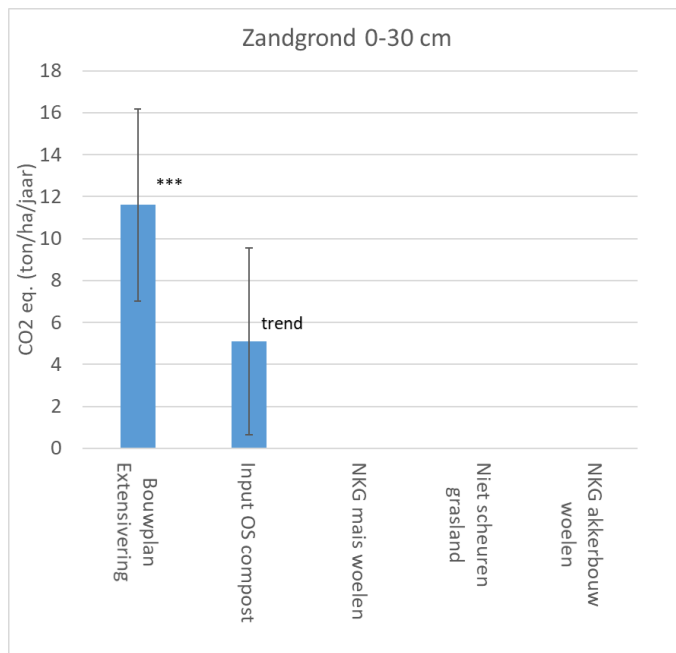
Voor de veehouderij had leeftijd van grasland voor graslanden op kleigrond een groot effect op de C-vastlegging in de bodem: de verhoging in C was hoger dan de waarden beschreven in de literatuur. Voor zandgrond zien we een sterke toename van C-vastlegging in de laag 0-10 cm, ook hoger dan de literatuur laat zien in deze bodemlaag. Echter, bekijken we de laag 0-30 cm, dan is voor grasland op zandgrond de toename niet gemeten. Verdere analyse per laag van 10 cm bodem zou inzicht kunnen geven in:

- of dit een effect van verdunning in combinatie met een relatief onnauwkeurige meting is
- of dat er sprake is van een afname van C in de laag van 10-30 cm van de bodem

Figuur 5 en 6 geven een gedeelte van de bovenstaande resultaten nogmaals grafisch weer, namelijk de maatregelen met significante effecten of een duidelijke trend, en alleen voor de laag 0-30 cm. In de figuren staat de potentiële (maximaal gemeten) grootte voor de verschillende maatregelen, in ton per ha per jaar aan CO₂, zoals gemeten in de LTE's onder Nederlandse omstandigheden. Deze grafieken geven een snel inzicht in welke maatregelen in de metingen tot nu toe in potentie als meest effectief naar voren komen als het gaat om hoeveelheid C-vastlegging. We zien hier dat op kleigronden voor de akkerbouw aanpassingen in het bouwplan de grootste effecten kan hebben, op enige afstand gevolgd door input van vaste mest. Grote hoeveelheden compost als input zijn op kleigrond niet getest in de LTE's. Voor de veeteelt gaat het om het niet scheuren van grasland (hoe ouder hoe beter), op enige afstand gevolgd door woelen als grondbewerking in mais.



Figuur 5. Potentiele effecten van maatregelen in ton/ha/jaar aan CO₂ equivalenten voor kleigrond. Onzekerheid weergegeven door standaardfout van het verschil (SED), significantie weergegeven door sterretjes.



Figuur 6. Potentiele effecten van maatregelen in ton/ha/jaar aan CO₂ equivalenten voor zandgrond. Onzekerheid weergegeven door standaardfout van het verschil (SED), significantie weergegeven door sterretjes.

Op zandgrond zien we voor de akkerbouw weer bouwplan als maatregel die in de metingen tot nu toe de grootste effecten toonde. De variabiliteit van deze maatregel was zeer groot, zoals eerder in deze rapportage bediscussieerd. Compost als input volgt op zandgrond als de maatregel die na bouwplan de grootste potentie toonde. Voor de veehouderij waren de effecten van de maatregelen op zandgrond die tot nu toe gemeten zijn, voor de bodemlaag 0-30 cm, klein.

7 Aanbevelingen

De kennis en data over de koolstofvastlegging in minerale bodems door verschillende bodemmaatregelen blijken nog slechts beperkt beschikbaar. Uit de literatuur (Lesschen et al., 2012 en herziening 2019) kennen we globale inschattingen van landbouwkundige maatregelen op basis van veelal buitenlandse literatuur.

De kwantitatieve informatie hoeveel koolstof er nu echt door landbouwkundige maatregelen kan worden vastgelegd onder Nederlandse condities, in bodemtypes karakteristiek voor Nederland en landbouwkundige praktijken en gewassen, ontbreekt nog grotendeels.

In deze verkenning zijn zes potentierijke maatregelen als het gaat om CO₂-vastlegging onderzocht. Hiertoe is de vastlegging van koolstof in enkele Lange Termijn Experimenten (LTE's) bepaald bij het wel of juist niet toepassen van een bepaalde maatregel. Veelal waren de LTE's echter niet voor dit doel opgezet. In hoeverre andere maatregelen en acties te implementeren zouden zijn in de landbouwpraktijk en of er potentie is in termen van koolstof vastlegging is nog grotendeels onduidelijk.

Vragen die open staan over de bijdrage van andere in de literatuur en praktijk genoemde maatregelen betreffen de:

- Inzet van groenbemesters en vanggewassen;
- Beheer van gewasresten;
- Inzet op gewassen en rassen met meer ondergrondse biomassa;
- De werking van deze maatregelen op verschillende bodemtypes;
- De werking bij interactie bij het nemen van meerdere maatregelen tegelijkertijd.

Maar ook hoe kunnen de organische stof afbraak in de bodem verdere verminderen door aanpassingen in de grondbewerking of andere omgang tijdens de teelt.

Om te weten of daadwerkelijk 0,5 Mton CO₂-reductie per jaar wordt gehaald met de inzet van bodemmaatregelen, is het van belang zowel de uitgangssituatie van de voorraad organische stof in de bodem te kennen, maar vooral ook de potentie van de verschillende maatregelen die genomen kunnen worden bij verschillende bodem types en landbouwkundig management. Samen levert dit met het implementatie percentage uiteindelijk de koolstofvastlegging in Nederlandse minerale gronden op.

Focus en verdiepend onderzoek is nodig om de bijdrage van de uiteenlopende maatregelen verder te kwantificeren. Daarbij zal de focus naast bovenstaande vragen moeten worden gericht op de meest perspectiefvolle maatregelen:

- Aanpassingen in het bouwplan zoals met de inzet van rustgewassen zoals granen, graszaad;
- Uitstel van het scheuren van grasland;
- Werkzame systemen met mais in gefreesde stroken;
- Bemestingsstrategie: verschuivingen naar vaste mest en compost;
- Gewasdiversiteit (divers grasland) en rassen met meer wortelbiomassa.

Aanbevolen wordt in te zetten op aanvullende metingen in lopende LTE's op de gestandaardiseerde wijze waarbij ook mogelijke afwentelingseffecten waaronder gasvormige emissies van bijvoorbeeld lachgas worden meegenomen.

Daarnaast zouden aanvullende studies opgezet dienen te worden waarbij het effect van aanpassingen in het bouwplan kunnen worden onderzocht. Ook zijn een aantal maatregelen nog niet op een gestandaardiseerde wijze onderzocht waaronder het effect van groenbemesters, achterlaten van gewasresten, akkerranden en 'no-till'. Ook is onderzoek nodig naar specifieke situaties waar de huidige LTE's geen uitkomst bieden zoals de inzet van organische stof inputs op zand maar ook de effecten van diversiteit zoals in grasland en mogelijk andere gewassen en bouwplanmaatregelen.

Tot slot is aanvullende en verdiepende data-analyse mogelijk door de resultaten van de LTE-studies te combineren met modelanalyses zoals de modellen RothC en NDICEA.

Literatuur

- Bokhorst, J.G., C. ter Berg, M. Zanen, C.J. Koopmans, 2008. Mest, compost en bodemvruchtbaarheid: 8 jaar proefveld Mest als Kans. Rapport LD10. Louis Bolk Instituut, Driebergen. 28 p.
- Burgt, G.J.H.M. van der, C. Rietema, M. Bus, 2017. Planty Organic 5 jaar: evaluatie van bodemvruchtbaarheid, stikstofhuishouding en productie. Rapport 2017-037 LbP. Louis Bolk Instituut, Bunnik. 40 p.
- Cooper, J., M. Baranski, G. Stewart et al., 2016. Shallow non-inversion tillage in organic farming maintains crop yields and increases soil C stocks: a meta-analysis. *Agron. Sustain. Dev.* 36: 22.
- Deru, J., H. van Schooten, H. Huiting, R. van der Weide, 2015. Reduced tillage for silage maize on sand and clay soils: effects on yield and soil organic matter. In EGF 2015. Wageningen, The Netherlands 15-17 June 2015: p. 398-400.
- Eekeren, N.J.M. van, J.G.C. Deru, N.J. Hoekstra, J. de Wit, 2018. Carbon Valley: Organische stofmanagement op melkveebedrijven: Ruwvoerproductie, waterregulatie, klimaat en biodiversiteit. Rapport 2018-002 LbD. Louis Bolk Instituut, Bunnik. 36 p.
- Haan, Janjo de, Marie Wesselink, Wim van Dijk, Harry Verstegen, Willem van Geel, Wim van den Berg, 2017a. Biologisch teelt op zuidelijke zandgronden: opbrengst, bemesting, bodemkwaliteit en stikstofverliezen; Resultaten van het biologische bedrijfssysteem van het project Bodemkwaliteit op zand in de periode 2000-2016. Wageningen Research, Rapport WPR-755. 100p.
<https://doi.org/10.18174/440225>
- Haan, J.J. de, M. Wesselink, W. van Dijk, H.A.G. Verstegen, W.C.A. van Geel, W. van den Berg. 2017b. Effect van organische stofbeheer op opbrengst, bodemkwaliteit en stikstofverliezen op een zuidelijke zandgrond. Resultaten van de gangbare bedrijfssystemen van het project Bodemkwaliteit op zand in de periode 2011-2016. Wageningen Research, Rapport WPR-754. 108 p.
<https://doi.org/10.18174/440226>
- Huiting, H.F., R.Y. van der Weide, M.A. Schoutsen en J.J. de Haan, 2016. Bodem onder een duurzame en renderende maïsteelt : Ho onderzoek bijdraagt aan een duurzame maïsteelt, met oog voor bodemkwaliteit én rendement. Wageningen University and Research, 6 p.
- Hull, J. van 't, J. de Haan, A. van der Linden, P. Kuikman, W. Dijkman, N. Douwe Dekker, J.P. Wagenaar en C.J. Koopmans, 2018. Demonstratie en netwerken – fase 1 – voorbereiding en selectie. Voorbereiding van demonstraties en netwerken binnen 'Klimaatwinst uit doordacht landgebruik'. Wageningen University and Research, Louis Bolk Instituut en CLM, 25 p.
- Koopmans, C.J. en J. Bloem, 2018. Soil quality effects of compost and manure in arable cropping. Results from using soil improvers for 17 years in the MAC trial. Louis Bolk Institute rep. no. 2018-001 LbP, 40 p.
- Koopmans, C.J., S. Staps, N. van Eekeren, M. Hondebrink, 2018. Verkenning perspectieven voor CO2 vastlegging in agrarische bodems van Noord-Brabant. Louis Bolk Instituut, in voorbereiding.
- Lange M., N. Eisenhauer, C.A. Sierra et al., 2015. Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. *Nat. Commun.* 6: 6707
- Lesschen, J.P., H. Heesmans, J. Mol-Dijkstra, A. van Doorn, E. Verkaik, I. van den Wyngaert en P. Kuikman, 2012. Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw en natuur. Alterra rapport 2396 ISSN 1566-7197. 64 p.
- Lijster, E. de, J. van den Akker, A. Visser, B. Allema, A. van der Wal, W. Dijkman, 2016. Waarderen van bodemwatermaatregelen. CLM-912. 56 p.

- Luppa, C., 2018. Mest Als Kans – Manure as a Chance. Analysis of agro-ecosystems fertilized with soil improvers for 19 years. Internship report Wageningen UR / Louis Bolk Instituut, WUR report SBL-70424, 37 pp.
- Opheusden, A.H.M. van, G.H.M. van der Burgt, P.I. Rietberg, 2012. Decomposition rate of organic fertilizers: effect on yield, nitrogen availability and nitrogen stock in the soil. Rapport 2012-033 LbP. Louis Bolk Instituut, Driebergen. 40 p.
- Reijneveld, A., van Wensem, J., Oenema, O. 2009. Soil organic carbon contents of agricultural land in the Netherlands between 1984 and 2004. *Geoderma* 152, 231-238.
- Riemens, M., H. Huiting, J. Deru, H. van Schooten en R. van der Weide, 2017. Duurzaam bodembeheer in mais. Mais en bodem jaarrapport, 2016. Wageningen Plant Research rapport nr. 731, Rapport BO-31.03-001-003. 63 p.
- Wit, J. de, S. van der Goor, J. Pijlman en N. van Eekeren, 2018. Opbouw organische stof met blijvend grasland. *Vfocus* april 2018: 32-33.
- Zanen, M., J.G. Bokhorst, C. ter Berg, C.J. Koopmans, 2008. Investeren tot in de bodem: Evaluatie van het proefveld Mest Als Kans. Rapport LD11. Louis Bolk Instituut, Driebergen. 40 p.
- Zwart, K.B., J.J.H. van den Akker, D.W. Bussink, M.J.O.M. de Haas, R.Y. van der Weide, J.G.M. Paauw, W. Saathoff, D. Goense en A.J. Doornbos, 2011. Waterkwaliteit bij de wortel aangepakt. Alterra-rapport 2177, Alterra, Wageningen, 92 p.