

Effecten van koolstofvastleggende maatregelen op de (BLN)- bodemkwaliteit indicatoren - Deel 2

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



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit

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

Colofon

Dit rapport is tot stand gekomen binnen het Project 'Evaluatie van de effectiviteit van koolstofvastleggende maatregelen' in het kader van het programma Slim landgebruik.

Review: J. De Haan²

Maart 2022

Contact: Slimlandgebruik@wur.nl

J.A.B. Schepens¹, B.G.H. Timmermans¹, Z.G.J. Herbert¹, M. Hoogmoed¹, L.M. Fuchs², D.T. Heupink¹, T. Slier², J.P. Wagenaar¹ en C.J. Koopmans¹ (2022). Effecten van koolstofvastleggende maatregelen op de (BLN)-bodemkwaliteit indicatoren - Deel 2. 34 pagina's

¹ Louis Bolk Instituut ² Wageningen University & Research

© 2022 Louis Bolk Instituut

Publicatienummer: 2022-010 LbP

34 pagina's

Deze publicatie is beschikbaar via
www.louisbolk.nl/publicaties

Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
2 Doelstelling	8
3 Werkwijze	9
3.1 Lange termijn experimenten	9
3.2 Metingen aan koolstofvastlegging en BLN-indicatoren	9
3.3 Data-analyse	10
4 Resultaten en discussie.....	11
4.1 Compost toevoegen	11
4.2 Groenbemesters.....	14
4.3 Méérjarige akkerranden	16
4.4 Leeftijd grasland verhogen	18
4.5 Wisselteelt maïs-gras(klaver).....	20
4.6 Kruidenrijk grasland	22
5 Conclusies en aanbevelingen	25
5.1 Bodemkwaliteitseffecten van maatregelen om koolstof vast te leggen	25
5.2 Vervolg	26
6 Referenties	28
Bijlage 1. LTE Proefopzet beschrijvingen.....	29
Akkerbouw.....	29
Veehouderij	30
Bijlage 2. Toelichting op de gemeten (BLN) indicatoren	32

Samenvatting

Om te evalueren welke landbouwkundige maatregelen bijdragen aan koolstofvastlegging in de bodem worden binnen het onderzoeksprogramma Slim Landgebruik sinds 2018 Lange Termijn Experimenten (LTE's) bemeaten. Hiermee wordt bijgedragen aan de in het klimaatakkoord vastgestelde doelstelling om vanaf 2030 0,5 Mton CO₂-eq emissie te reduceren door vastlegging van koolstof in minerale landbouwgronden (zand en klei). Binnen Slim Landgebruik wordt ook onderzocht in hoeverre het vastleggen van koolstof in de bodems gepaard gaat met het behouden van- of verbeteren van de bodemkwaliteit en daarmee kan bijdragen aan duurzaam bodembeheer zoals verwoord in het Nationaal Programma Landbouwbodems (NPL). Vanaf 2019 zijn de koolstofmetingen in de LTE's daarom aangevuld met bodemkwaliteitsmetingen aansluitend bij de indicatorset van de BLN (Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland). Deze set bevat naast organische stof indicatoren ook fysische, chemische en biologische indicatoren. Hiermee kan het 'meekoppelen' van de bodemkwaliteit met de koolstofvastleggende maatregelen worden onderzocht. Vorig jaar is een eerste rapport (Hoogmoed *et al.*, 2021) (Deel 1) opgeleverd met de metingen uit 2019. Voorliggend rapport (Deel 2) beschrijft de resultaten van de BLN-metingen uit 2020. Dit jaar bevat het rapport meer maatregelen voor de veehouderij: leeftijd grasland verhogen, kruidenrijk grasland en wisselteelt mais-gras(klaver). Voor de akkerbouw gaat het om de maatregelen groenbemesters, compost toevoegen en meerjarige akkerranden. De resultaten uit voorliggend rapport (Deel 2) en het vorige rapport (Deel 1) samen geven een beeld van de meekoppeleffecten van BLN-indicatoren bij een gemeten toename in bodemkoolstof. We zien bij zeven LTE's een trendmatige of een significante toename in het percentage koolstof in de bodem. Deze toename in bodemkoolstof ging in alle gevallen gepaard met een toename in hot-water extractable carbon (HWC). Bij zes LTE's was ook een toename in stikstof totaal te zien en in alle zeven LTE's was er een toename in één of meerdere biologische indicatoren. Op basis van de metingen in de LTE's in zand en kleigronden kan worden geconcludeerd dat de maatregelen die een toename in bodemkoolstof laten zien een neutraal of positief effect hebben op de bodemkwaliteit. Hierdoor kan de voorzichtige conclusie worden getrokken dat klimaatmaatregelen positief of neutraal mee-koppelen met de doelstelling om in 2030 alle Nederlandse landbouwbodems duurzaam te beheren.

1 Inleiding

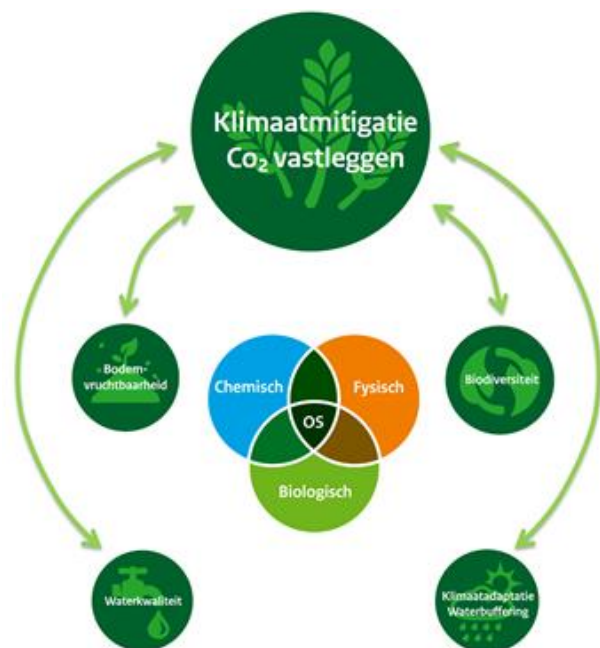
Als uitvloeisel van het Klimaatakkoord uit 2018 heeft de landbouwsector zich gecommitteerd aan klimaatdoelstellingen. Een onderdeel daarvan is het doel om 0,5 Mton CO₂-equivalenten extra per jaar vast te leggen in minerale landbouwbodems, met ingang van 2030. Deze doelstelling is ook één van de twee pijlers van het Nationaal Programma Landbouwbodems (NPL). De tweede pijler is dat alle landbouwbodems (1.8 miljoen hectare) in 2030 duurzaam worden beheerd.

Om de klimaatdoelstelling van de landbouw te realiseren wordt er binnen het programma Slim Landgebruik onderzoek gedaan naar landbouwkundige maatregelen die koolstofvastlegging in de bodem effectief kunnen bevorderen. Deze maatregelen hebben echter naar verwachting ook effecten op de bodemkwaliteit. Naast koolstofvastlegging dragen deze maatregelen bij voorkeur bij aan de beleidsdoelstelling om in 2030 alle landbouwbodems duurzaam te beheren (Figuur 1). Binnen de PPS Beter Bodembeheer wordt onderzocht welke set van bodemindicatoren breed toepasbaar is om verschillen in bodemkwaliteit te onderscheiden en te beoordelen. Ook wordt een inventarisatie gemaakt van referentiewaarden. Een eerste versie (1.0) van deze indicatorset is beschreven in Hanegraaf *et al.* (2019) en wordt de BLN-indicatorset genoemd (Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland). In 2021 is de eerste versie van het BLN geëvalueerd, en is er een BLN 1.1 verschenen, met aansluitend ook een ontwikkelpad naar een volgende versie, de BLN 2.0 (de Haan *et al.*, 2021a; de Haan *et al.*, 2021b). Binnen dit onderzoek is aangesloten bij de BLN-metingen zoals die binnen Slim Landgebruik zijn ingezet in 2019 gebruikmakend van de metingen zoals beschreven in Hanegraaf (2019).

Binnen Slim Landgebruik wordt gebruik gemaakt van bestaande lange termijn experimenten (LTE), om de effectiviteit van de koolstofvastlegging van verschillende maatregelen te kunnen beoordelen. In 2019 zijn een vijftal maatregelen om koolstof vast te leggen in geselecteerde LTE's onderzocht (Koopmans *et al.*, 2020) en zijn metingen gedaan aan zowel de bodemkoolstof om de vastlegging te bepalen alsook aan de overige BLN-indicatoren om eventuele meekoppeleffecten van bodemkwaliteit bij de klimaatmaatregelen nader te onderzoeken. In 2021 is hierover een rapport verschenen waarin de effecten van de eerste set aan klimaatmaatregelen op de bodemkwaliteit aan de hand van de BLN-indicatoren is beschreven (Hoogmoed *et al.*, 2021). Hierbij lag de focus op de volgende maatregelen: 1) niet-kerende grondbewerking, 2) verbeteren gewasrotaties, 3) compost toevoegen, 4) dierlijke mest toevoegen en 5) leeftijd grasland verhogen.

Voorliggend rapport (deel 2) beschrijft de bevindingen van aanvullende klimaatmaatregelen op de bodemkwaliteitsindicatoren zoals die in Lange Termijn Experimenten zijn gemeten in het najaar van 2020.

Hoofdstuk 2 gaat in op de doelstelling van dit rapport, in hoofdstuk 3 wordt de werkwijze besproken, in hoofdstuk 4 staan per maatregel de resultaten met een korte discussie, in hoofdstuk 5 staat de conclusie met aanbevelingen.



Figuur 1. Schematische visualisatie van de samenhang tussen de klimaatopgave en koolstofvastlegging in landbouwbodems en de bodemkwaliteit gezien vanuit het Nationaal Programma Landbouwbodems, NPL.

2 Doelstelling

Het doel van de analyse in dit onderzoek is om de effecten van de koolstofvastleggende maatregelen op de bredere bodemkwaliteit te bepalen. Daarbij staat de vraag centraal hoe deze maatregelen de indicatoren van de BLN indicatorset beïnvloeden en of daarmee sprake is van positieve-, neutrale, dan wel negatieve meekoppeleffecten van de koolstofvastlegging op de gemeten bodemindicatoren. Daarmee wordt een eerste indicatie verkregen of maatregelen voor koolstofvastlegging bijdragen aan een duurzaam bodembeheer.

3 Werkwijze

3.1 Lange termijn experimenten

In het najaar en de winter van 2020-2021 zijn verschillende lange termijn experimenten (LTE's) in Nederland en België bemonsterd om de effecten van koolstofvastleggende maatregelen te testen op een groot aantal parameters uit de BLN-indicatorset (Koopmans *et al.*, 2021). Het najaar van 2020 was zonniger en droger dan het najaar van 2019 waarin de metingen uit Hoogmoed *et al.* (2021) zijn verricht. De zomer 2020 was warm maar minder uitzonderlijk dan de zomer van 2019. Omdat veranderingen in de bodem vaak pas na lange tijd zichtbaar of meetbaar worden, zijn op verschillende plekken in Nederland LTE's aangelegd. Deze LTE's zijn vaak niet specifiek aangelegd om veranderingen in koolstof of bodemkwaliteit te meten, maar kunnen hier wel voor gebruikt worden. Tabel 1 geeft een overzicht van maatregelen die in de LTE's onderzocht zijn en de locaties van de LTE's. Een beschrijving van de exacte opzet van de verschillende LTE's staat in Bijlage 1. Bij de selectie moest sprake zijn van een volwaardig lange-termijn experiment waarbij een koolstofvastleggende maatregel wordt vergeleken met een referentiebehandeling. De duur van deze experimenten is meerdere jaren (≥ 5 jaar) waardoor een eventueel significant verschil in organische stofopbouw in de bodem verwacht mag worden. In geval van de kruidenrijk graslandproeven op klei en zand die in 2020 zijn bemonsterd liepen pas voor drie jaar. Indien er geen wetenschappelijk lange-termijn experiment voorhanden was voor een specifieke maatregel, maar er wel een potentiële bijdrage aan de koolstofvastlegging verwacht kon worden vanuit literatuuronderzoek en modelberekeningen (Lesschen *et al.*, 2012; Lesschen *et al.*, 2021), werd uitgeweken naar praktijkpercelen. Hiermee kon er een vergelijking worden gemaakt tussen percelen mét en zonder toepassing van de specifieke maatregel toegepast. Ook kan de maatregel in oplopende mate worden toegepast. Dit betreft bijvoorbeeld de oplopende leeftijd van grasland (=oplopende leeftijd) of een bouwplan verbetering door middel van een oplopend aandeel graan in het bouwplan. Bij de perceelselectie is de voorwaarde gesteld dat de maatregelen gedurende een periode van 8 jaar was toegepast.

Tabel 1. Geselecteerde maatregelen en de lange termijn experimenten of praktijkpercelen (bedrijven) waarin zowel de koolstofvastlegging alsook de BLN-indicatoren zijn gemeten op zand- en kleigronden in het najaar van 2020.

Akkerbouw	Klei	Zand
Compost toevoegen		Vlaamse leem (Bierbeek – Belgische Bodemkundige Dienst)
Groenbemesters		Centraal zand (Wageningen - WUR)
Méérjarige akkerranden	Zuidwestelijke klei (Bedrijven – Hoeksche Waard)	Noordelijk zand (bedrijven - Groningen)
Veehouderij	Klei	Zand
Leeftijd grasland verhogen (niet scheuren)		Bedrijven - Brabant
Mais-gras wisselteelt		Bedrijven - Brabant
Kruidenrijk grasland	Noordelijke klei (Dairy Campus - Friesland)	Zuidelijk zand (Kelpen Oler - Limburg)

3.2 Metingen aan koolstofvastlegging en BLN-indicatoren

De bemonsteringen zijn uitgevoerd in de 0-30 cm bodemlaag volgens de gestandaardiseerde protocollen binnen Slim Landgebruik, en staan beschreven in Koopmans *et al.*, (2020). Voor de analyses is aangesloten bij de bepalingen zoals beschreven in Hanegraaf *et al.*, (2019). Tabel 2 geeft een overzicht van de gemeten (BLN) indicatoren, de desbetreffende analysemethode en afkortingen zoals gebruikt in de figuren in dit rapport. De analyses zijn uitgevoerd laboratoria van Eurofins Agro, Louis Bolk Instituut, Wageningen Environmental Research en de bodemkundige dienst van België (BDB).

Voor een aantal indicatoren zijn zowel de klassiek chemische analyse als een nieuwe, in de praktijk vaak gebruikte, analysemethode gebruikt, namelijk NIRS (Near Infrared Spectroscopy). Bij NIRS wordt nabij infrarood licht gebruikt om een reflectiepatroon van een grondmonster te maken. Hieruit kan de samenstelling van het monster worden herleid, op basis van vergelijkingen in een grote database van andere reflectiepatronen. De NIRS-methode heeft als voordelen dat het snel en relatief goedkoop is, maar deze methode is nog niet voor alle indicatoren wetenschappelijk gevalideerd. Ter vergelijking zijn daarom hier zowel de klassieke als de NIRS-methode gebruikt. Een toelichting op de gemeten indicatoren is opgenomen in Bijlage 2.

Tabel 2. Koolstof en BLN-indicator metingen verricht binnen de studie welke aansluiten bij de metingen en protocollen van Koopmans et al. (2019) en Hanegraaf et al. (2019).

Categorie	Afkorting	Volledige naam	Analyse methode	Eenheid
Organische stof	C-ele	C-elementair	Dumas	%
	OS-gloeï	Organisch stofgehalte	Gloeiverlies	%
	OS-N	Organisch stofgehalte	NIRS	%
	HWC	Hot water extractable carbon	Heetwater extractie	mg kg ⁻¹
Fysisch	Klei	Kleifractie (Lutum, <2 µm),	NIRS	%
	Indr Max	Maximale indringingsweerstand	Penetrometer	MPa
	Indr gem	Gemiddelde indringingsweerstand	Penetrometer	MPa
	bd	Droge bulkdichtheid	Steekringmethode	kg m ⁻³
	WVV	Watervasthoudend vermogen	Berekend op basis van pF curve (pF 4,2 – pF 2)	%
	% Scherpb	Scherpblokkige structuurdelen	Visueel, bodemscan	%
	Beworteling	Hoeveelheid wortels	Visueel, bodemscan	index 0-2
Chemisch	pH-CaCl ₂	Zuurgraad	CaCl ₂ extractie	
	N-tot N	N-totaal	NIRS	mg N kg ⁻¹
	N-tot K	N-totaal	Kjeldahl	mg N kg ⁻¹
	N-min	N-mineraal in het najaar	CaCl ₂ extractie	kg ha ⁻¹
	P-PAE	P-beschikbaar	CaCl ₂ extractie	mg P kg ⁻¹
	Pw	P-beschikbaar	Water extractie	mg P ₂ O ₅ L ⁻¹
	PAL	P-voorraad	Ammoniumlactaat extractie	mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹
	K-PAE	K-beschikbaar	CaCl ₂ extractie	mg K kg ⁻¹
	K-voor N	K-voorraad	NIRS	mmol K kg ⁻¹
	Biologisch	PMN N	Potentieel mineraliseerbare stikstof	NIRS
Microb biom		Microbiële biomassa	NIRS	mg C kg ⁻¹
Bact biom		Bacteriebiomassa	NIRS	mg C kg ⁻¹
Schim biom		Schimmelbiomassa	NIRS	mg C kg ⁻¹

3.3 Data-analyse

Data-analyse is uitgevoerd met het programma Rstudio (RStudio, 2018; R Development Core Team, 2013). De data-analyse is per maatregel en per LTE uitgevoerd op de metingen in de 0-30 cm bodemlaag. Vanwege de verschillende opzet van de proeven zijn verschillende analyses uitgevoerd. Voor de geblokte proeven met herhalingen is eerst getoetst of de data normaal verdeeld zijn. Bij een normale verdeling is een ANOVA-test uitgevoerd. Indien de data niet normaal verdeeld waren is een log-transformatie uitgevoerd waarna de verdeling in veel gevallen normaal bleek en alsnog een ANOVA-test kon worden uitgevoerd. Enkele parameters bleken niet normaal verdeeld. Hiervoor werd een Kruskal-Wallis-test uitgevoerd. Bij een significant resultaat van een ANOVA is een least significant difference (LSD) post-hoc test uitgevoerd om de verschillen tussen de behandelingen te bepalen.

Voor de maatregelen *compost toevoegen* en de *inzet groenbemesters* zijn beide systeemprouven (zie tabel 1) bemonsterd en geanalyseerd met een ANOVA-test. Bij de maatregel *akkerranden* is ook een ANOVA-test gebruikt waarbij een vergelijking is gemaakt tussen de akkerrand en het direct aansluitende perceel. Hierbij is het perceel als blok meegenomen.

Voor de maatregel *leeftijd van grasland* zijn er in 2020 aanvullende metingen verricht op zandgronden. Deze zijn onderverdeeld in de volgende categorieën: 0 jaar oud, 1-3 jaar oud en meer dan 12 jaar oud grasland. Hier is voor de statistische toets gekozen voor een unbalanced ANOVA-test doordat de categorieën niet uit hetzelfde aantal percelen bestond, met de leeftijdscategorie als behandeling.

Om de maatregel *mais-gras wisselteelt* te evalueren zijn praktijkpercelen vergeleken met een verschillende gewashistorie: 1) percelen met continue maisteelt, 2) percelen die 1-3 jaar voor bemonstering zijn omgezet van maisteelt naar grasland en 3) percelen die 1-3 jaar voor bemonstering zijn omgezet van grasland naar maisteelt. Vanwege het ongelijke aantal percelen in de verschillende groepen is hier een unbalanced ANOVA-test gebruikt.

Bij de maatregel *kruidenrijk grasland* in de kruidenproef Limburg zijn de behandelingen met verschillende graskruidenmengsels ook vergeleken met een ANOVA-test. Bij de LTE over kruidenrijk grasland op de Dairy Campus in Friesland zijn de graskruidenmengsels onder twee soorten beheer gemeten: een met drijfmest zonder uitgestelde maaidatum en een met vaste mest en met uitgestelde maaidatum. Deze zijn apart geanalyseerd.

4 Resultaten en discussie

4.1 Compost toevoegen

De resultaten

Voor de maatregel compost toevoegen werd in 2020 één LTE bemonsterd. De LTE ligt op Vlaamse leemgrond, waar reeds 23 jaar behandelingen liggen met kunstmest, verschillende hoeveelheden compost en een onbemeste controle. De meetresultaten en uitkomsten van de statistische analyse zijn in Tabel 3 weergegeven en hieronder worden de voornaamste resultaten beschreven:

- In de LTE waren alle organische stof indicatoren (C-ele, OS-gloeï, OS-N, HWC) significant ($P < 0,05$) hoger in de behandelingen waar compost is toegevoegd vergeleken met de behandelingen kunstmest (zie ook Koopmans *et al.*, 2021). Zoals ook reeds in dit rapport besproken werd, valt daarbij op dat de bodem met behandeling kunstmest een hoger gehalte bodemkoolstof heeft dan de onbemeste controle.
- De fysische bodemkwaliteit verschilt bij enkele indicatoren. Zo is er een significant lagere bodemdichtheid voor de drie compost behandelingen in vergelijking met de kunstmest behandeling, en neemt de bodemdichtheid af bij hogere compostgiften. Daarnaast zien we, in lijn met het bovenstaande, een trend van minder wortels bij de onbemeste variant in vergelijking met alle bemeste varianten, inclusief kunstmest.
- Wat betreft het gehalte stikstof zoals die in de organische stof zit (stikstof-totaal, gemeten via zowel NIRS-technologie als de Kjeldahl-methode) zien we dat ook deze hoger was naarmate de compostgift hoger was. Door de grote hoeveelheden compost gaat het bij de behandelingen met jaarlijks 45 ton compost om een verdubbeling van de hoeveelheid stikstof-totaal, wat in lijn ligt met de verdubbeling van het gehalte organische stof. Dit kan tot behoorlijk hogere stikstofmineralisatie leiden in het seizoen, al zal een aanzienlijk deel ook opgeslagen blijven in de organische stof.
- We zien in het jaar van de meting geen toename in de hoeveelheden mineraal stikstof (N-min) in het najaar in de laag 0-30 cm. De hoeveelheid mineraal stikstof ten tijde van de metingen was laag in alle behandelingen. Dit kan met het late meettijdstip (eind december) te maken hebben.
- Fosfaat, zowel het gedeelte dat los in de bodem zit en direct voor opname beschikbaar is (P-PAE en Pw) als de wat vastere fractie die op termijn beschikbaar komt (voorraad, P-AL) vertonen een significante toename met hoger wordende compost toediening. Met toenemende dosis compost nemen de gemeten fosfaatindicatoren ongeveer lineair toe.
- Ook kalium dat voor planten beschikbaar is en de kaliumvoorraad vertonen een bijna lineaire toename met hoger wordende compost toediening.
- Er is geen significante toename in de PMN, die gezien wordt als een maat voor de activiteit van het bodemleven.
- De behandelingen met compost hebben wel geleid tot significant meer bodemleven (schimmels en bacteriën) dan in de kunstmest en onbemeste behandelingen.

Discussie

In de LTE op Vlaamse leemgrond worden drie niveaus van compost toediening vergeleken, met een onbemeste variant en een variant met kunstmest. We zien hier dat deze behandelingen met name effecten hebben op het gehalte aan bodemorganische stof en bodemkoolstof en op de nutriënten in de bodem. Dit is naar verwachting, aangezien er in de behandelingen behoorlijke hoeveelheden organische stof en nutriënten worden toegevoegd via de compost. Bij de aanvoer van grote hoeveelheden compost is het belangrijk om de aangevoerde hoeveelheid nutriënten uit de compost in evenwicht te houden met wat opgenomen kan worden door het gewas, dit om mogelijke uitspoeling van nutriënten naar het water te voorkomen. De hogere hoeveelheid koolstof in de kunstmest behandeling ten opzichte van de onbehandelde variant hangt hoogst waarschijnlijk samen met de lagere gewasproductie en lagere wortelgroei in het onbehandelde object. Hierdoor komt er minder koolstof uit gewasresten de bodem in. Overigens is dit verschil in totale koolstof wel klein en vertaalt het zich bijvoorbeeld niet naar een significant verschil in bodemorganische stof.

De compost toediening had minder effect op de gemeten bodemfysische parameters. Uitzondering daarop waren de bodemdichtheid, die lager was bij toediening van compost, en de beworteling, die minder was bij onbemest (dat laatste waarschijnlijk door achterblijvende gewasgroei). Ten slotte zien we ook een toename in bodembioologische parameters in de compost varianten in vergelijking met kunstmest. Dit is naar verwachting, aangezien het organisch materiaal in de compost voeding kan vormen voor het bodemleven. De hoeveelheid PMN is daarentegen niet toegenomen. PMN is een maat voor verschillen in potentiële microbiële activiteit en de aanwezigheid van snel afbreekbare organische stof

(i.e. makkelijk beschikbare stikstof). Compost is een relatief stabiele vorm van organische stof waarbij de makkelijk vrij te maken stikstof grotendeels tijdens het composteerproces al is gemineraliseerd en mogelijk dus weinig PMN toevoegt aan de bodem. We kunnen concluderen dat de toediening van de compost resulteerde in een toename in bodemkoolstof, en dat daarbij stikstof, fosfaat en kalium (m.a.w. de algemene nutriëntenstatus van de bodem) meekoppelen en fors toenemen. Ook hoeveelheden schimmels en bacteriën namen toe en de bulkdichtheid nam juist af.

Tabel 3. Effect van compost t.o.v. kunstmest op de Vlaamse leen (Bierbeek - Bodemkundige dienst België (2020) in de 0-30 cm bodemlaag. Een asterisk (*) betekent een trend met $P < 0,10$, ** is een significant verschil met $P < 0,05$. Zie Tabel 2 voor de betekenis van de afkortingen. Verschillende letters (a, b, c, d) geven significante verschillen aan tussen de behandelingen.

		Meting	Eenheid	Onbemest	Kunstmest	Compost 15 ton		Compost 30 ton		Compost 45 ton		Effect compost	
Organische stof	C-ele	%	0,8	a	0,9	b	1,3	c	1,6	d	1,9	e	**
	OS-gloeï	%	1,7	a	1,9	a	2,5	b	3,0	c	3,5	d	**
	OS - N	%	1,7	a	1,9	a	2,5	b	2,9	c	3,5	d	**
	HWC	mg kg ⁻¹	297,6	a	357,8	ab	421,2	b	545,1	c	629,7	d	**
Fysisch	Klei	%	9,5		9,0		8,8		9,5		9,3		
	Indr Max	MPa	2,6		3,3		3,8		2,8		3,2		
	Indr gem	MPa	1,2		1,4		1,7		1,2		1,4		
	bd	kg m ⁻³	1553	a	1510	ab	1450	bc	1398	c	1375	c	**
	WVV	%	26		26		27		27		28		
	% Scherpb	%	63,8		57,5		55,0		63,8		63,8		
	Beworteling	index 0-2	1,0		1,8		1,5		2,0		1,5		*
Chemisch	pH-CaCl ₂		6,5		6,4		6,6		6,7		6,7		*
	N-tot N	g N kg ⁻¹	0,80	a	0,89	a	1,18	b	1,34	c	1,62	d	**
	N-tot K	g N kg ⁻¹	0,87	a	1,01	a	1,43	b	1,81	c	2,14	d	**
	N-min	kg ha ⁻¹	7,0		6,7		8,7		10,2		10,7		
	P-PAE	mg P kg ⁻¹	1,2	a	3,0	b	3,0	b	4,6	c	6,8	d	**
	Pw	mg P ₂ O ₅ L ⁻¹	21,3	a	34,8	b	37,5	b	51,5	c	68,0	d	**
	PAL	mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹	24,0	a	34,3	b	43,0	b	58,3	c	72,5	d	**
	K-PAE	mg K kg ⁻¹	33,3	a	50,5	a	103,3	b	158,3	c	236,0	d	**
K-voor N	mmol+ K kg ⁻¹	3,1	a	3,8	ab	5,2	bc	6,1	c	6,9	c	**	
Biologisch	PMN N	mg N kg ⁻¹	27,0		27,8		26,5		32,8		35,3		
	Microb biom	mg C kg ⁻¹	146,0	a	143,8	a	212,0	b	252,0	bc	265,3	c	**
	Bact biom	mg C kg ⁻¹	54,0	a	58,5	a	90,0	b	98,8	b	105,8	b	**
	Schim biom	mg C kg ⁻¹	46,0	a	49,5	a	70,0	ab	75,8	b	84,0	b	**

4.2 Groenbemesters

Resultaten

Op centrale zandgrond nabij Wageningen is een LTE onderzocht waarin de inzet van verschillende soorten groenbemesters met zwarte braak (geen groenbemester na het hoofdgewas) vergeleken worden (Tabel 4). De looptijd van deze LTE was beperkt (5 jaar).

- We zien in de metingen dat de behandelingen met groenbemesters geen significante verhoging van bodemkoolstof.
- Er is slechts op twee BLN-indicatoren een effect te zien van de groenbemesters. Wat betreft de fysische indicatoren is er een trend van een hogere gemiddelde indringingsweerstand bij de behandelingen met groenbemesters. Dit wordt gezien als een licht negatief effect op de fysische bodemkwaliteit.
- Plant-beschikbaar kalium is hoger bij de behandelingen met bladrammanas en de behandeling met een mix van bladrammanas en Japanse haver dan bij zwarte braak.

Korte discussie

Wat opvalt is dat in deze LTE de variatie tussen de herhalingen behoorlijk groot is en dat de proef nu 5 jaar loopt. Om een effect van de groenbemesters te zien tegen de achtergrond van de relatief grote variatie tussen de herhalingen is een langere looptijd nodig. Desondanks is er een hoger gehalte plant-beschikbaar kalium gemeten in de groenbemester-behandelingen. Daar de groenbemesters zorgen voor de opname van nutriënten ten opzichte van zwarte braak, kan dit ervoor zorgen dat er meer kalium vrij komt in de bodem doordat de groenbemesters weer worden ingewerkt en verteren. Tevens was er een lichte toename van de indringingsweerstand van de bodem bij groenbemesters, wat te maken kan hebben met drogere bodem bij de groenbemesters ten tijde van bemonstering in het najaar (een plant verdampt meer water dan zwarte braak). Een eerdere studie in deze proef vond verschillen in bodemleven en afbraaksnelheden in de bodem bij de behandelingen met verschillende groenbemesters in het voorjaar/zomer, direct volgend op het onderwerken van de groenbemesters (Barel *et al.*, 2019). Mogelijk komt de afwezigheid van verschillen in de PMN in onze metingen doordat dit in het najaar en niet direct na het onderwerken van de groenbemesters is gemeten. De verschillen in bodemleven en afbraaksnelheid in het voorjaar wijzen er echter op dat het afbraakproces anders is in de verschillende plots, en mogelijk kunnen we op termijn hierdoor verschillen verwachten. Concluderend kan worden gesteld dat in deze LTE met verschillende groenbemesters vooralsnog geen tot nauwelijks effecten gemeten zijn die veranderingen in de bodemkwaliteit tonen, gemeten aan de hand van de BLN-indicatoren.

Tabel 4. Effect van groenbemesters op Centrale zand (Wageningen) in de 0-30 cm bodemlaag. Een asterisk (*) betekent een trend met $P < 0,10$, ** is een significant verschil met $P < 0,05$. Zie Tabel 2 voor de betekenis van de afkortingen. Verschillende letters (a, b) geven significante verschillen aan tussen de behandelingen.

	Meting	Eenheid	Bladrammenas +				Effect groenbemesters	
			Zwarte braak	Bladrammenas	Japanse haver	Bladrammenas + Japanse haver		Bladrammenas + Wikke + Japanse haver
Organische stof	C-ele	%	1,2	1,2	1,3	1,3	1,2	
	OS-gloeï	%	2,5	2,6	2,5	2,6	2,4	
	OS - N	%	2,3	2,2	2,6	2,8	2,5	
	HWC	mg kg ⁻¹	411,8	411,8	415,6	447,8	439,5	
Fysisch	Klei	%	2	2,2	2,2	2	2	
	Indr Max	MPa	2,2	3,5	4,8	4,6	4,3	
	Indr gem	MPa	0,9	1,4	1,4	1,9	1,6	*
	bd	kg m ⁻³	1418	1414	1446	1440	1436	
	WVV	%	13	14	14	15	14	
	% Scherpb	%	19	16	16	15	19	
	Beworteling	index 0-2	0,6	0,8	1	0,8	0,6	
Chemisch	pH-CaCl ₂		5,2	5,3	5,3	5,26	5,26	
	N-tot N	g N kg ⁻¹	0,84	0,89	0,99	1,07	0,98	
	N-min	kg ha ⁻¹	16,6	16,5	21,8	19,0	19,1	
	P-PAE	mg P kg ⁻¹	2,7	2,52	3,04	2,92	3	
	Pw	mg P ₂ O ₅ L ⁻¹	44,2	39,6	45,6	46,6	45,2	
	PAL	mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹	46,6	40,8	46	48,8	45,8	
	K-PAE	mg K kg ⁻¹	49,0 a	64,4 b	56,2 ab	65,8 b	60,0 ab	**
	K-voor N	mmol+ K kg ⁻¹	1,6	2,1	1,8	1,8	1,6	
Biologisch	PMN N	mg N kg ⁻¹	19,8	24,4	21,4	26,8	26,2	
	Microb biom	mg C kg ⁻¹	144,4	184	140,2	150	140,2	
	Bact biom	mg C kg ⁻¹	50,8	68,6	57,8	49,6	39,6	
	Schim biom	mg C kg ⁻¹	48,4	67	36,4	40,6	37,4	

4.3 Méérjarige akkerranden

Resultaten

In 2020 zijn in akkerranden en aangrenzende percelen (referentie) de BLN-indicatoren gemeten op zowel zand- als kleigronden (Tabel 5). Het betreft hierbij percelen met meerjarige akkerranden met gras, waarvan er 7 bemonsterd zijn op (veenkoloniale) zandgronden in Oost-Groningen, en 8 op kleigronden in de Hoeksche Waard. Ten tijde van de bemonstering lagen de referentiepercelen braak. Hieronder worden de voornaamste resultaten beschreven:

- Op de kleigronden hebben akkerranden een significant effect op de organische stofgehalten in de bovengrond. Dit effect was sterk positief voor alle organische stof indicatoren (C-ele, OS-gloeï, OS-N en HWC). Op de zandgronden zijn geen effecten gemeten voor de organische stofindicatoren.
- De indringingsweerstand gemeten in de akkerranden op zand is hoger dan in de referentie.
- De beworteling in de akkerranden was hoger vergeleken met de beworteling in de referentie. Bij zandgronden is dit een significant verschil terwijl op de klei slechts een trend ($p < 0,10$) gevonden is.
- Wat betreft de chemische indicatoren zijn een aantal verschillen gevonden tussen de akkerranden en de referentie. Er zijn lagere fosfaatgehalten gemeten in de akkerranden ten opzichte van de referentie. Op zand gaat het hierbij om een significant lagere P-PAE, Pw en PAL. Op de klei is een trend ($p < 0,10$) gemeten van lagere PAL in de akkerranden.
- De plant-beschikbare kaliumgehalten (K-PAE) zijn op de kleipercelen hoger in de akkerranden. Op het zand is juist een trend gevonden van een lagere K-PAE in de akkerranden.
- Op de kleigronden zijn meerdere indicatoren van het bodemleven hoger in de akkerrand dan in de referentie. Het gaat hierbij om de microbiële biomassa en de schimmelbiomassa. Daarnaast is er ook een trend gevonden voor een hoger PMN in de akkerranden, wat gezien wordt als een maat voor de activiteit van het bodemleven.

Korte discussie

De effecten van de akkerranden op de bodemindicatoren verschillen op de zand- en kleigronden sterk van elkaar. Deze verschillen kunnen verklaard worden door naar het beheer en de bodemkenmerken in beide gebieden te kijken. De meerjarige akkerranden op de kleipercelen stammen allemaal van vóór 2009. De akkerranden worden jaarlijks maximaal twee keer geklepeld, en dit materiaal wordt maar in beperkte mate afgevoerd. Daarnaast wordt er bij het jaarlijkse beheer van de aangrenzende sloot bagger op de rand aangebracht. De hoge waardes voor organische stof, stikstof en kalium zouden kunnen worden verklaard door de hoge leeftijd van de randen en het gebrek aan afvoer in combinatie met de toevoer van rijke slootbagger, waardoor organische stof en nutriënten zich in de bodem ophopen. We zagen dit echter niet terug in een hoger gehalte van fosfaat in de bodem van akkerranden op klei. In 2021 zal gemeten worden op akkerranden waar geen slootbagger is aangebracht om het effect van slootbagger buiten beschouwing te laten bij het onderzoeken van de effecten van akkerranden.

De veenkoloniale zandpercelen worden gekenmerkt door zeer hoge gehalten bodemorganische stof van boven de 10%. Zulke gehalten zijn lastig om op peil te houden en vragen om een hoge input van organisch materiaal. De akkerranden worden elk jaar geklepeld en er vindt geen bemesting plaats. Daarnaast worden de randen in dit gebied regelmatig omgewerkt en opnieuw ingezaaid, waardoor organische stof verloren gaat. Dit verschrallende beheer kan verklaren waarom er in de akkerranden op zand geen opbouw van koolstof plaatsvindt en de gehalten aan nutriënten in de bodem afnemen. Op klei is een positief effect van akkerranden op het bodemleven te zien. De bodem van deze randen is al meer dan 10 jaar niet bewerkt waardoor het bodemleven minder is verstoord dan in de referentie. Doordat de akkerranden op zand vaker worden verstoord, zijn er mogelijk minder verschillen in het bodemleven tussen de randen en de referentiepercelen. De akkerranden worden veelal gebruikt als rijpad. Aangezien er geen grondbewerking plaatsvindt om de grond weer los te maken, is het aannemelijk dat in de bovenlaag verdichting optreedt en daardoor de gemeten indringingsweerstand toeneemt.

Tabel 5. Effect van méérjarige akkerranden op het Noordelijk zand (Veenkoloniaal -Groningen) en Zuidwestelijke klei (Hoekse Waard) in de 0-30 cm bodemlaag. Effect van méérjarige akkerranden t.o.v. referentie. Een asterisk (*) betekent een trend met $P < 0,10$, ** is een significant verschil met $P < 0,05$. Zie Tabel 2 voor de betekenis van de afkortingen.

Categorie	Meting	Eenheid	Noordelijk zand			Zuidwestelijke klei		
			Referentie	Meerjarige akkerrand	Effect akkerrand	Referentie	Meerjarige akkerrand	Effect akkerrand
Organische stof	C-ele	%	6,5	5,2		1,4	2,3	**
	OS-gloei	%	10,3	8,6		2,9	4,5	**
	OS - N	%	10,5	9,1		2,8	4,3	**
	HWC	mg kg ⁻¹	1465,8	1351,4		447,2	725,2	**
Fysisch	Klei	%	0,6	1,4		21,3	18,5	
	Indr Max	MPa	2,8	3,4		2,1	2,1	
	Indr gem	MPa	1,2	1,7	**	1,0	1,2	
	bd	kg m ⁻³	1137	1181		1475	1463	
	WVV	%	26	22		24	24	
	% Scherpb	%	17,9	15,6		53	60	*
	Beworteling	index 0-2	0,9	1,8	**	1,5	2,0	*
	Chemisch	pH-CaCl ₂		5,2	5,0		7,5	7,4
N-tot N		g N kg ⁻¹	2,85	2,64		1,74	2,23	
N-tot K		g N kg ⁻¹	3,14	2,67		1,52	2,17	**
N-min		kg ha ⁻¹	14,0	7,3		18,6	15,1	
P-PAE		mg P kg ⁻¹	3,5	1,2	**	1,3	1,0	
Pw		mg P ₂ O ₅ L ⁻¹	42,7	22,4	**	29,9	25,6	
PAL		mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹	36,1	26,0	**	48,6	40,3	*
K-PAE		mg K kg ⁻¹	112,9	80,9	*	74,0	109,0	**
K-voor N		mmol+ K kg ⁻¹	3,0	2,7		4,9	5,5	
Biologisch	PMN N	mg N kg ⁻¹	48,1	52,4		42,8	62,6	*
	Microb biom	mg C kg ⁻¹	280,6	314,4		324,4	457,6	**
	Bact Biom	mg C kg ⁻¹	135,3	153,8		139,3	195,6	
	Schim biom	mg C kg ⁻¹	59,7	61,4		104,6	152,8	**

4.4 Leeftijd grasland verhogen

Resultaten

Op zandgrond is in 2020 een zorgvuldige selectie van percelen uitgevoerd, in aanvulling op de percelen geselecteerd in 2018 en 2019. Hierbij is specifiek gezocht naar percelen zonder recent grasland verleden (in de afgelopen 9 jaar), die omgezet zijn naar grasland. We zien dat deze selectie, die behoorlijke moeite heeft gekost, een duidelijk resultaat oplevert (Tabel 6).

- C-elementair, de klassieke en NIRS-meting van het gehalte bodemorganische stof (C-ele, OS-gloei, OS-N) zijn allemaal hoger in de oude graslandpercelen (>12 jaar) en de jonge graslandpercelen (1-3 jaar) dan in de permanente bouwlandpercelen.
- Er is bijna een dubbele hoeveelheid HWC in de graslanden die ouder zijn dan 12 jaar ten opzichte van de continu bouwlandpercelen, terwijl het bouwland en de jonge graslanden niet verschillen in HWC.
- Er zijn geen verschillen in de fysische indicatoren, zoals de bulkdichtheid en de indringingsweerstand (bd, Indr gem).
- De verschillen in organische stof gaan gepaard met hogere gehalten stikstof totaal. Het gehalte stikstof totaal is ten opzichte van het bouwland alleen hoger in de oudere graslanden en niet in de jonge graslanden. Het verschil is zowel aangetoond bij de Kjeldahl als de NIRS-meting (N-tot K, N-tot N).
- Alle gemeten bodembioologische indicatoren zijn significant ($P < 0.05$) hoger in oudere graslanden dan in zowel de jonge graslanden als het bouwland. Dit verschil gaat bij de indicatoren potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) en de schimmelbiomassa om meer dan een verdubbeling.

Korte discussie

De metingen tonen een duidelijke toename van bodemkoolstof en organische stof in percelen met oud grasland ten opzichte van continu bouwland op zandgrond. Het gaat in deze analyse echter nog om een vrij beperkt aantal percelen. Bovendien bevat de selectie van 2020 alleen percelen in de categorie 1-3 jaar en ouder dan 12 jaar, maar geen percelen in de categorie 3-12 jaar. Uitbreiding van deze categorie percelen in het komende jaar moet deze resultaten versterken. De toename in organische stof indicatoren is terug te zien in een verhoging van de totale stikstof. Deze stikstof kan vervolgens weer (deels) worden gemineraliseerd uit de organische stof door het bodemleven, wat wordt gereflecteerd in de hoge concentraties potentieel mineraliseerbaar stikstof (PMN) in de graslanden van meer dan 12 jaar. Ook de microbiële biomassa en de HWC illustreren de aanwezigheid van veel bodemleven en voedsel voor bodemleven onder het oude grasland. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat HWC, totaal stikstof en de biologische indicatoren, allen niet verschillen tussen het permanente bouwland en het jonge grasland van 1-3 jaar oud. Mogelijk zijn effecten op deze indicatoren nog niet zichtbaar binnen dit korte tijdsplan. We kunnen concluderen dat oude graslanden een hoger gehalte organische (kool)stof en stikstof en meer bodemleven heeft dan permanent bouwland. Bij de jonge graslanden was er al een verschil te zien in het gehalte organische (kool)stof, maar nog niet bij andere indicatoren.

Tabel 6. Effect van leeftijd grasland verhogen op Zuidelijk zand (Brabant) in de 0-30 cm bodemlaag. Vergelijking van continu bouwland met grasland met aangegeven leeftijd. Een asterisk (*) betekent een trend met $P < 0,10$, ** is een significant verschil met $P < 0,05$. Zie Tabel 2 voor de betekenis van de afkortingen. Verschillende letters (a en b-tjes) geven significante verschillen aan tussen de behandelingen.

Categorie	Meting	Eenheid	Zuidelijk zand						
			Continu bouwland	1-3 jr		>12 jr		Effect leeftijd grasland	
Organische stof	C-ele	%	1,5	a	1,8	b	2,5	c	**
	OS-gloei	%	2,8	a	3,4	b	4,7	c	**
	OS - N	%	2,7	a	3,7	b	4,7	c	**
	HWC	mg kg ⁻¹	651	a	759	a	1170	b	**
Fysisch	Klei	%	2,3		2,3		3,0		
	Indr Max	MPa	3,9		3,2		3,1		
	Indr gem	MPa	1,7		2,3		2,1		
	bd	kg m ⁻³	1407		1418		1380		
	WV	%	23		22		23		
	% Scherpb	%	15		21		18		
	Beworteling	index 0-2	1,7		2,0		2,0		
	Chemisch	pH-CaCl ₂		5,3		5,4		5,0	
N-tot N		g N kg ⁻¹	1,11	a	1,37	a	1,97	b	**
N-tot K		g N kg ⁻¹	1,15	a	1,34	a	2,03	b	**
N-min		kg ha ⁻¹	15,9		11,2		19,3		
P-PAE		mg P kg ⁻¹	7,4		3,5		4,5		
Pw		mg P ₂ O ₅ L ⁻¹	99,7		71,5		52,7		
PAL		mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹	93,7		85,0		43,0		
K-PAE		mg K kg ⁻¹	99,3		103,0		100,3		
K-voor N		mmol+ K kg ⁻¹	1,9		2,5		2,6		
Biologisch	PMN N	mg N kg ⁻¹	38	a	38	a	85	b	**
	Microb biom	mg C kg ⁻¹	272	a	247	a	436	b	**
	Bact Biom	mg C kg ⁻¹	101	a	105	a	167	b	**
	Schim biom	mg C kg ⁻¹	79	a	62	a	153	b	**

4.5 Wisselteelt maïs-gras(klaver)

Resultaten

Bedrijven op zandgrond hebben vaak percelen met continu maïsteelt. In de maatregel wisselteelt maïs-gras(klaver) wordt onderzocht of een wisselteeltsysteem met tijdelijke gras(klaver) op dergelijke percelen positief kan uitpakken voor koolstofvastlegging en de bodemkwaliteit (zoals gemeten met de BLN-indicatoren). In 2020 is gemeten in percelen van bedrijven die deel uitmaken van de Duinboeren en gelegen zijn rond de Loonse en Drunense duinen in Brabant. De volgende categorieën zijn gebruikt: i) percelen met continu maïs; ii) percelen waar 1-3 jaar maïs staat met een continu graslandverleden (i.e. maïs na gras); en iii) de percelen waar 1-3 jaar gras staat met een continu maïslandverleden (i.e. gras na maïs). De resultaten laten het volgende zien (Tabel 7):

- Hoger gehalte C-elementair, organische stof gloeiverlies en HWC (C-ele, OS-gloei, HWC) in de maïs na graspercelen ten opzichte van de percelen met continu maïs en de gras na maïs percelen.
- In tegenstelling tot organische stof gemeten met gloeiverlies was de meting van organische stof met NIRS-technologie (OS-N) zowel hoger in zowel de maïs na graspercelen als de gras na maïs percelen.
- De bulkdichtheid (bd) was lager in de maïs na graspercelen.
- De beworteling was intensiever in de gras na maïs percelen dan in de maïs na graspercelen.
- Totaal stikstof (N-tot K, N-tot N) was hoger in de maïs na graspercelen dan in de andere percelen.
- Lager gehalte aan plant-beschikbare fosfaat (P-PAE) in de maïs na graspercelen dan in de continue maïspercelen.
- Er was een negatieve trend te zien voor wateroplosbaar fosfaat (Pw) en plant-beschikbare kalium (K-PAE) bij de maïs na graspercelen.
- Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) was hoger in de gras na maïs percelen dan in de andere percelen.

Korte discussie

Het gehalte bodemkoolstof in de wisselteelt percelen is hoger dan bij continu maïsteelt. Logischerwijs is er een trend dat naarmate er een groter aandeel van de tijd grasland in de wisselteelt zit, het koolstof gehalte hoger wordt. Niet alleen bodemkoolstof verschilt tussen het continu maïs en de percelen in wisselteelt, maar ook een ruim aantal andere BLN-indicatoren. De grootste verschillen in BLN-indicatoren zijn te zien tussen continu maïs en de 'maïs na gras' percelen. Hier heeft eerst een ruime tijd grasland gestaan, waarna het is omgezet in maïsland. Alle organische stof indicatoren zijn hoger in de 'maïs na gras' percelen. Het hogere organische stofgehalte verklaart ook de lagere bulkdichtheid en hogere stikstof totaal. Ondanks de hogere organische stofgehaltes in de 'maïs na gras' percelen is er qua bodemleven alleen een effect gezien op het gehalte potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) en niet op de microbiële indicatoren. Mogelijk heeft een ander bemestingsverleden gezorgd voor een lager gehalte fosfaat en kalium in de 'maïs na gras' percelen dan in continu maïs. De gehalten fosfaat en kalium die worden gemeten in de 'maïs na gras' percelen zijn vergeleken met standaardwaarden echter niet dusdanig laag dat hier gesproken kan worden van een negatief effect op de bodemkwaliteit. In het algemeen laten de metingen in de geselecteerde percelen zien dat een hoog aandeel grasland in een wisselteelt voor een toename in bodemkoolstof zorgt, met ook positieve effecten op verschillende BLN-indicatoren, zoals een lagere bulkdichtheid en hogere stikstof-totaal.

Tabel 7. Effect van wisselteelt mais-gras(klaver) op zuidelijke zand (Brabant) in 2020) in de 0-30 cm bodemlaag. Een asterisk (*) betekent een trend met $P < 0,10$, ** is een significant verschil met $P < 0,05$. Zie Tabel 2 voor de betekenis van de afkortingen. Verschillende letters (a en b-tjes) geven significante verschillen aan tussen de behandelingen.

Categorie	Meting	Eenheid	Continu mais (>12 jr)	Meerjarig mais, dan 1-3 jr gras (gras na mais)	Meerjarig gras, dan 1-3 jr mais (mais na gras)	Effect mais-gras wisselteelt
Organische stof	C-ele	%	1,5 a	1,8 a	2,2 b	**
	OS-gloei	%	2,8 a	3,4 a	4,1 b	**
	OS - N	%	2,7 a	3,7 b	4,6 b	**
	HWC	mg kg ⁻¹	650,7 a	758,8 a	988,9 b	**
Fysisch	Klei	%	2,3	2,3	2,2	
	Indr Max	MPa	3,9	3,2	3,1	
	Indr gem	MPa	1,7	2,3	1,6	
	bd	kg m ⁻³	1407 b	1418 b	1277 a	**
	WVV	%	23	22	22	
	% Scherpb	%	15,0	21,3	14,4	
	Beworteling	index 0-2	1,7 ab	2,0 b	1,2 a	**
Chemisch	pH-CaCl ₂		5,3	5,4	5,2	
	N-tot N	g N kg ⁻¹	1,11 a	1,37 a	1,76 b	**
	N-tot K	g N kg ⁻¹	1,15 a	1,34 a	1,73 b	**
	N-min	kg ha ⁻¹	15,9	11,2	16,0	
	P-PAE	mg P kg ⁻¹	7,4 b	3,5 ab	2,0 a	**
	Pw	mg P ₂ O ₅ L ⁻¹	99,7	71,5	46,2	*
	PAL	Mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹	93,7	85,0	57,7	
	K-PAE	mg K kg ⁻¹	99,3	103,0	61,7	*
K-voor N	mmol+ K kg ⁻¹	1,9	2,5	2,6		
Biologisch	PMN N	mg N kg ⁻¹	38 a	38 a	58 b	**
	Microb biom	mg C kg ⁻¹	272	247	297	
	Bact Biom	mg C kg ⁻¹	101	105	113	
	Schim biom	mg C kg ⁻¹	79	62	80	

4.6 Kruidenrijk grasland

Resultaten

De effecten van kruidenrijk grasland (3 seizoenen oud) zijn opnieuw bemeaten, op zowel Zuidelijk zand (Kempen Oler-Limburg) als Noordelijke kleigrond (dairy Campus - Friesland). In 2018 vond er een startmeting plaats en de intentie is om deze proeven nog meerdere jaren langer te laten door lopen. Op beide grondsoorten liggen experimenten met behandelingen met vergelijkbare mengsels: het 'biodivers functioneel weidevogelmengsel' (BFW) en het 'biodivers primair weidevogelmengsel' (BPW). Het BFW-mengsel bestaat uit gras en productieve kruidensoorten, terwijl het BPW-mengsel naast gras zowel productieve als minder productieve kruidensoorten bevat.

- In de kruidenproef op Zuidelijk zand is er na de 3 jaar dat de proef loopt geen extra koolstof opgebouwd in de behandelingen met graskruidenmengsels (Tabel 8).
- Met uitzondering van één meting zijn hier geen verschillen in BLN-indicatoren. Alleen de scherpblokkigheid van de bodem is significant hoger bij het BFW-mengsel.

Op de Noordelijke kleigrond vinden we in de LTE twee soorten beheer waarin het effect van graskruidenmengsels gemeten is (Tabel 9): beheer met drijfmest zonder uitgestelde maaidatum en beheer met vaste mest en uitgestelde maaidatum. De controles vielen ook onder dit beheer.

- Bij het beheer met drijfmest zonder uitgestelde maaidatum is slechts verschil aangetoond bij één BLN-indicator. Onder dit beheer was alleen N-mineraal lager in de behandeling met het BPW-mengsel.
- Bij het beheer met vaste mest en uitgestelde maaidatum hebben de graskruidenmengsels effect gehad op meerdere BLN-indicatoren:
 - We zien een significant hoger gehalte C-elementair bij dit beheer met vaste mest in de behandeling met het BPW-mengsel ten opzichte van de controle en het BFW-mengsel.
 - De HWC is lager bij het BFW-mengsel ten opzichte van zowel de controle als het BPW-mengsel.
 - Er is een lichte trend te zien van een hogere maximale indringingsweerstand (Indr max) en lagere concentratie plant-beschikbare kalium (K-PAE) in de behandeling met het BPW-mengsel.

Korte discussie

Kruidenrijk grasland staat volop in de belangstelling en veel veehouders zijn er al mee aan de slag. Er zijn voordelen van inzet van dit beheer op allerlei vlakken te verwachten (biodiversiteit, smakelijkheid, klimaatrobustheid). Een effect op bodemkwaliteit (gemeten met de BLN-indicatoren) zou daarbij een mooie toevoeging zijn. Op zandgrond is er alleen een hogere scherpblokkigheid bij het BFW-mengsel waargenomen, wat in principe als een negatief effect kan worden gezien op de bodemkwaliteit. Echter is het kleine verschil (6-8%) in scherpblokkigheid tussen de behandelingen bij een visuele bodembeoordeling als verwaarloosbaar te beschouwen.

Bij de behandelingen op kleigrond onder het beheer van drijfmest en geen uitgestelde maaidatum is er alleen een lager gehalte in N-mineraal gevonden bij het BPW-mengsel. Mogelijk heeft dit te maken met een hogere productie van het BPW-mengsel (Jansma *et al.*, 2021). Bij het beheer met vaste mest en een uitgestelde maaidatum is een eenduidiger effect te zien van kruidenrijk grasland. Hier is het percentage C-elementair significant hoger in het BPW-mengsel dan in de andere behandelingen. Mogelijk is er een interactie tussen het effect van kruidenrijk grasland en de maaidatum en de bemesting op bodemkoolstof. Daarnaast bleek recent dat er een vochtigheidsgradiënt is binnen de rijen in het proefveld (Hoekstra *et al.* in prep). Mogelijk wordt hierdoor het effect van kruidenrijk grasland op bodemkoolstof overschat. Dit zal in de komende jaren verder worden uitgediept, aangezien de proef nog maar twee jaar loopt. De andere waargenomen relaties zijn niet zo eenduidig te verklaren. De LTE's over kruidenrijk grasland lopen nog relatief kort. We zien in de meeste gevallen dan ook (nog) geen duidelijke verschillen in BLN-indicatoren. Daarom is er nog weinig zekerheid over wat voor conclusies er kunnen worden getrokken.

Tabel 8. Effect van kruidenrijk grasland op Zuidelijk zand (Kelpen Oler - Limburg) in 20202 in de 0-30 cm bodemlaag. Een asterisk (*) betekent een trend met $P < 0,10$, ** is een significant verschil met $P < 0,05$. Zie tabel Tabel 2 voor de betekenis van de afkortingen.

Categorie	Meting	Eenheid	Controle (gras)	Biodivers functioneel weidevogels (BFW) ¹	Biodivers primair weidevogels (BPW) ¹	Effect kruidenrijk grasland			
Organische stof	C-ele	%	1,7	1,8	1,8				
	OS-gloei	%	3,3	3,4	3,3				
	OS - N	%	3,25	3,4	3,3				
	HWC	mg kg ⁻¹	806,0	806,2	781,0				
Fysisch	Klei	%	2	1,8	1,5				
	Indr Max	MPa	3,9	4,5	3,7				
	Indr gem	MPa	2,3	2,5	2,1				
	bd	kg m ⁻³	1438	1423	1420				
	WVV	%	20	20	19				
	% Scherpb	%	15	a	23	b	21	ab	**
	Beworteling	index 0-2	1,8		2,0		1,8		
Chemisch	pH-CaCl ₂		5,6	5,6	5,6				
	N-tot N	g N kg ⁻¹	1,29	1,39	1,36				
	N-tot K	g N kg ⁻¹	1,27	1,28	1,26				
	N-min	kg ha ⁻¹	13,8	15,2	14,9				
	P-PAE	mg P kg ⁻¹	1,4	1,6	1,5				
	Pw	mg P ₂ O ₅ L ⁻¹	37,2	38,5	38,5				
	PAL	mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹	69,5	70,5	71,5				
	K-PAE	mg K kg ⁻¹	50,5	43,8	48,0				
	K-voor N	mmol+ K kg ⁻¹	2,1	2,0	2,1				
Biologisch	PMN N	mg N kg ⁻¹	36	45,3	41,3				
	Microb biom	mg C kg ⁻¹	279,8	283,3	321,3				
	Bact Biom	mg C kg ⁻¹	99,5	103,0	118,5				
	Schim biom	mg C kg ⁻¹	70,3	71,8	95,5				

¹In Koopmans et al. (2021) zijn de termen 0 kruiden, 5 kruiden en >15 kruiden gebruikt voor de behandelingen; dit is in de voorliggende rapportage specifiek uitgedrukt in respectievelijk de behandeling 'gras' en de behandelingen met de graskruidmengsels 'Biodivers functioneel en weidevogels (BFW)' en 'Biodivers primair weidevogels (BPW)'.

Tabel 9. Effect van kruidenrijk grasland op Noordelijke klei (Dairy Campus Friesland) in 2020 in de 0-30 cm bodemlaag. Een asterisk (*) betekent een trend met $P < 0,10$, ** is een significant verschil met $P < 0,05$. Zie Tabel 2 voor de betekenis van de afkortingen. Verschillende letters (a, b en c-tjes) geven significante verschillen aan tussen de behandelingen.

			Drijfmest en kunstmest	Drijfmest en kunstmest	Drijfmest en kunstmest	Vaste mest en uitgestelde maaidatum		Vaste mest en uitgestelde maaidatum		Vaste mest en uitgestelde maaidatum			
Categorie	Meting	Eenheid	Biodivers functioneel en weidevogels (BFW)		Biodivers primair weidevogels (BPW)	Effect kruidenrijk grasland	Biodivers functioneel en weidevogels (BFW)		Biodivers primair weidevogels (BPW)		Effect kruidenrijk grasland		
			Controle (gras)				Controle (gras)						
Organische stof	C-ele	%	4,3	4,2	4,2		4,2	a	4,1	a	4,9	b	**
	OS-gloei	%	7,4	7,5	7,5		7,7		7,4		8,0		
	OS - N	%	7,2	7,5	7,5		7,5		7,1		7,6		
	HWC	mg kg ⁻¹	1757	1979	1793		2100	b	1791	a	2173	b	**
Fysisch	Klei	%	41,3	40,3	39,3		38,8		39,0		40,0		
	Indr Max	MPa	1,2	1,3	1,3		1,6		1,5		1,8		*
	Indr gem	MPa	0,8	0,9	0,8		1,1		1,1		1,1		
	bd	kg m ⁻³	1133	1180	1153		1150		1223		1155		
	WVV	%	27	26	26		29		26		29		
	% Scherpb	%	73,8	71,3	71,3		63,8		63,8		72,5		
	Beworteling	index 0-2	2	2	2		2		2		2		
Chemisch	pH-CaCl ₂		7,1	7,0	7,0		7,0		7,1		6,8		
	N-tot N	g N kg ⁻¹	4,12	4,16	4,17		4,25		4,03		4,37		
	N-tot K	g N kg ⁻¹	4,41	4,52	4,64		4,51		4,31		4,69		
	N-min	kg ha ⁻¹	26,6	b	24,6	b	18,9	a	**	18,9	20,0	17,1	
	P-PAE	mg P kg ⁻¹	0,8		0,7		1,0		0,8		0,8		
	Pw	mg P ₂ O ₅ L ⁻¹	20,8		18,8		21,3		20,3		19,3		
	PAL	mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹	28,3		25,3		27,8		27,5		24,5		
	K-PAE	mg K kg ⁻¹	51,3		47,5		67,0		62,3		56,8		*
	K-voor N	mmol+ K kg ⁻¹	5,0		5,4		5,2		5,3		4,7		
Biologisch	PMN N	mg N kg ⁻¹	101	101	104		114		120		125		
	Microb biom	mg C kg ⁻¹	1113	1180	1143		1105		1056		1227		
	Bact Biom	mg C kg ⁻¹	427	430	403		467		443		493		
	Schim biom	mg C kg ⁻¹	251	232	280		255		252		320		

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Bodemkwaliteitseffecten van maatregelen om koolstof vast te leggen

In deze studie zijn aan de hand van de BLN-indicatorset (1.0) verschillen in bodemkwaliteit als gevolg van maatregelen om koolstof vast te leggen in beeld gebracht. Voor het onderzoek is gekeken naar een brede range aan zand- en kleigronden in Nederland en type behandelingen, in zowel de akkerbouw als de veehouderij (Koopmans et al., 2021). Hiervoor is gebruik gemaakt van verschillende lange termijn experimenten met ieder hun eigen opzet. De gebruikte set van indicatoren gaf daarbij, net zoals in Deel 1 van dit project (Hoogmoed et al., 2021), een behoorlijk compleet beeld van de effecten van maatregelen op de bodemkwaliteit in de verschillende proeven. De conclusies en aanbevelingen die kunnen worden afgeleid uit de resultaten in dit rapport (Deel 2) en de rapportage van Deel 1 (Hoogmoed et al., 2021) zullen hieronder worden besproken.

In Tabel 10 zijn de gevonden effecten van de maatregelen op BLN-indicatoren samengevat uit Deel 1 en Deel 2 van dit project. De samenvatting geeft een overzicht van de gevonden effecten, en hierin is te zien welke maatregelen leiden tot een toename in bodemkoolstof en welke BLN-indicatoren hiermee gepaard gaan. Zeven LTE's laten een toename in bodemkoolstof zien.

In het algemeen zien we dat de trend of significante toename in bodemkoolstof bij deze LTE's gepaard gaat met een toename in de HWC. De HWC wordt gezien als een maat voor de hoeveelheid makkelijk afbreekbare koolstof waar het bodemleven zich mee voedt en als een soort "early indicator" die aangeeft dat er processen in de bodem veranderen (Ghani et al., 2003). We zien inderdaad dat de HWC vrijwel altijd meekoppelt met bodemkoolstof. In Deel 1 van dit project (Hoogmoed et al., 2021) leek HWC bovendien een duidelijkere en sterkere verandering aan te tonen dan de metingen aan bodemkoolstof of bodemorganische stof. In dit deel 2 van dit project is hierop juist een uitzondering te zien. Dit was het geval bij grasland van 1-3 jaar oud. Het jonge grasland had een significant hoger gehalte bodemkoolstof dan continu maisland, maar er was geen hogere HWC. Hier reageerde de HWC dus minder sterk dan bodemkoolstof.

De metingen aan het bodemleven vertonen eveneens een positieve trend met een toename in bodemkoolstof. We zien dat bij alle maatregelen die zorgen voor meer bodemkoolstof, zowel in de akkerbouw als in de veehouderij, één of meerdere van de biologische indicatoren mee-koppelt.

Een toename in de bodemkoolstof ging in vier LTE's gepaard met een afname in de bulkdichtheid. Tegen de verwachting in is er dus niet altijd een lagere bulkdichtheid bij meer koolstof in de bodem.

Er is maar één keer gevonden dat een toename in bodemkoolstof gepaard gaat met een verhoogd watervasthoudend vermogen. Dit is in Deel 1 (Hoogmoed et al., 2021) gevonden bij de maatregel leeftijd grasland verhogen waar het overall effect op zowel klei als zand samen is geanalyseerd. Waarschijnlijk is de meetnauwkeurigheid van het watervasthoudend vermogen te beperkt om geringe veranderingen ten gevolge van de onderzochte maatregelen aan te tonen, en is het watervasthoudend vermogen vooral afhankelijk van de textuur van de bodem.

Bij twee compostproeven is de toename in bodemkoolstof gepaard gegaan met een toename in de fosfaatvoorraad (P-AL) in de bodem. Bij het toepassen van de deze maatregel is het van belang dat deze past binnen de Nederlandse landbouwpraktijk. Zo is de toepassing van 45 ton compost wanneer een bodem in de hoogste fosfaatklasse valt, zoals in de compostproef in België, in Nederland niet mogelijk. Plant-beschikbaar kalium (K-PAE) koppelde bij vier LTE's, waaronder deze twee compostproeven, positief mee met bodemkoolstof.

Tenslotte zien we een toename in totaal stikstof bij maatregelen met een toename in bodemkoolstof, aangezien stikstof samen met koolstof de belangrijkste elementen zijn in bodemorganische stof.

Over het algemeen kan worden geconcludeerd dat de maatregelen die een trendmatige of significante toename in bodemkoolstof laten zien in de metingen een neutraal of positief effect hebben op de bodemkwaliteit. Een neutraal effect betekent hier dat er geen trendmatige of significante veranderingen in de bodemindicatoren gevonden zijn. Bij geen van

deze koolstofvastleggende maatregelen is een significant negatief effect op de bodemkwaliteitsindicatoren gemeten. Hierdoor kan de voorzichtige conclusie worden getrokken dat klimaatmaatregelen positief of neutraal mee-koppelen met verschillende thema's uit het Nationaal Programma Landbouwbodems. Hiermee wordt bijgedragen aan de doelstelling om in 2030 alle Nederlandse landbouwbodems duurzaam te beheren.

5.2 Vervolg

Er zijn een aantal richtingen waar een vervolg op de voorliggende rapportage en Deel 1 (Hoogmoed *et al.* 2021) van dit project verder in kan ontwikkelen.

Ten eerste zijn in het najaar van 2021 opnieuw LTE's bemonsterd om de koolstofvastlegging van verschillende landbouwkundige maatregelen te evalueren. Daarbij zijn ook BLN-indicatoren gemeten, zoals beschreven in dit rapport. Het gaat om de maatregelen aanpassen gewasrotatie (aandeel graan), méérjarige akkerranden, groenbemesters, leeftijd grasland verhogen, kruidenrijk grasland en agroforestry. De gevonden effecten in deze LTE's vult het huidige overzicht van de gevonden meekoppeleffecten verder aan.

Ten tweede is het 'meekoppelen' van de bodemkwaliteit met de koolstofvastleggende maatregelen nu meerdere jaren onderzocht, waardoor de effecten van koolstofmaatregelen op de bodemkwaliteit integraal zullen worden geanalyseerd door de resultaten van drie jaar meten samen te voegen. Zo kunnen bijvoorbeeld alle BLN-metingen in graslandpercelen met verschillende leeftijden die de afgelopen drie jaar zijn bemonsterd worden samengevoegd om de zekerheid van de mee-koppeleffecten te vergroten. Bij deze meerjarige analyse, die binnenkort van start gaat, zou het nuttig zijn om referentiewaarden van de gemeten indicatoren te gebruiken die zijn afgeleid in BLN 1.1 (de Haan *et al.*, 2021). De set van bodemindicatoren is behoorlijk breed en compleet. Juist hierom zouden ranges van veel voorkomende waarden per grondsoort de interpretatie van de gegevens eenvoudiger maken. Dit geldt in het bijzonder voor de chemische indicatoren. De rapportage van de meerjarige analyse zal een uitgebreide discussie bevatten van de resultaten van drie jaar metingen en een evaluatie welke maatregelen passen binnen het bredere doel om vanaf 2030 alle landbouwbodems in Nederland duurzaam te beheren

Ten derde kan op basis van deze meerjarige analyse worden geëvalueerd welke BLN-indicatoren en/of goedkope alternatieve meetmethoden het meest effectief en/of kosteneffectief effecten van koolstofvastleggende maatregelen op de bodemkwaliteit worden aangetoond.

Een vierde ontwikkelrichting is het vertalen van de gemeten BLN-indicatoren in de LTE's naar te verwachten effecten op bodemfuncties, zoals nutriëntenlevering- en retentie en bodembiodiversiteit. Hiervoor zal een systematiek moeten worden toegepast waarbij er een aggregatiestap plaatsvindt van de BLN-indicatorset naar enkele bodemfuncties. Hiervoor in een eerste aanzet gedaan in de BLN 2.0 (de Haan *et al.*, 2021), maar deze moet nog verder worden ontwikkeld.

Als laatste aanbeveling kan worden geëvalueerd of een bredere set van BLN-indicatoren extra informatie geeft over effecten van koolstofvastleggende maatregelen op de bodemkwaliteit. Zo kunnen er aanvullende BLN-metingen worden gedaan, zoals het bepalen van de aggregaatstabiliteit of metingen aan het bodemleven, zoals regenwormen.

Tabel 10. Samenvatting van de effecten van de verschillende maatregelen op BLN indicatoren in de bemeten LTE's die zijn beschreven in dit rapport (Deel 2) en in Hoogmoed et al. (2021) (Deel 1). ++ en -- geven een significant effect aan ($p < 0.05$), + en - geven een trend aan ($p < 0,10$). Voor de tabel zijn de uiterste behandelingen vergeleken met de controle.

Meting	Eenheid	Verbeteren gewasrotatie	Compost			Drijfmest	Groenbemesters		Méérjarige akkerranden	NKG			Leeftijd grasland verhogen		Mais-gras wisselteelt	Kruidenrijk grasland		Meekoppeling met koolstof-toename ³		
			Overall ¹	Vlaamse Leem	Klei (MAK)		Klei (BASIS)	Klei		Zand	Zand	Klei	Vlaamse klei	Klei		Zand	Zand	Overall ¹	Zand	Zand
Organische stof	C-ele	%	+	++	++	++							-	++		++				
	OS-gloei	%		++	++	++								++	+	++			6	0
	OS - N	%		++	++	++								++		++			6	0
	HWC	mg kg ⁻¹	++	++	++	++								++	++	++			7	0
Fysisch	Klei	%									-								0	0
	Indr Max	MPa											++						0	0
	Indr gem	MPa	--				+	++						+					0	1
	bd	kg m ⁻³	--	--	--					++					--	--			0	4
	WVV	%											++		++				0	0
	% Scherpb	%													-		++		1	0
	Beworteling	index 0-2		+															2	0
Chemisch	pH-CaCl ₂			+						--	--								1	1
	N-tot N	g N kg ⁻¹	++	++	++	+							++	++	++				6	0
	N-tot K	g N kg ⁻¹		++	++	++							++	+	++				6	0
	N-min	kg ha ⁻¹															--		0	0
	P-PAE	mg P kg ⁻¹		++					--							--			1	1
	Pw	mg P ₂ O ₅ L ⁻¹		++					--							-			1	1
	PAL	mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹		++		+			--	-									2	1
	K-PAE	mg K kg ⁻¹	+	++		+	++	-	++					++		-			4	1
K-voor N	mmol+ K kg ⁻¹	+	++		+													3	0	
Biologisch	PMN N	mg N kg ⁻¹	++							+				++	+	++			4	0
	Microb biom	mg C kg ⁻¹	+	++		++				++				++					5	0
	Bact Biom	mg C kg ⁻¹	++	++		++						+		++					4	0
	Schim biom	mg C kg ⁻¹	+	++						++			-	++					4	0

¹Bij overall zijn zand en klei samen geanalyseerd ²Het effect van kruidenrijk grasland op klei is bekeken binnen het beheer van drijfmest, aangezien dit het meest voorkomende gebruik is en beter vergelijkbaar is met de proef op zand. ³Deze kolom geeft aan hoe vaak een indicator positief of negatief mee koppelt met een toename in koolstof (in groen).

6 Referenties

- Barel, J.M., Kuyper, T.W., Paul, J., Boer, W. de, Cornelissen, J.H.C., de Deyn, G.B. (2019). *Winter cover crop legacy effects on litter decomposition act through litter quality and microbial community changes*. *Journal of Applied Ecology* 56, 132-143.
- De Haan, J.J., van den Elsen, H.G.M., Hanegraaf, M.C., Visser, S.M. (2021a). *Evaluatie van de BLN, versie 1.0; Voorstel voor BLN versie 1.1 en schets van een ontwikkelpad naar een BLN, versie 2.0*. Wageningen Research, Rapport WPR-883. <https://edepot.wur.nl/549973>
- De Haan, J.J., van den Elsen, H.G.M., Hanegraaf, M.C., Visser, S.M. (2021b). *Bodemindicatoren voor landbouwgronden in Nederland (BLN versie 1.1)*. Wageningen Research. <https://edepot.wur.nl/550065>
- Ghani, A., Dexter, M., & Perrott, K. W. (2003). Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil biology and biochemistry*, 35(9), 1231-1243.
- Hanegraaf, M.C., van den Elsen, H.G.M., de Haan, J.J. en Visser, S.M. (2019). *Bodemkwaliteitsbeoordeling van landbouwgronden in Nederland – Indicatorset en systematiek, versie 1.0*. Wageningen Research, Rapport WPR-795, 34 p. <https://edepot.wur.nl/498307>
- Hoogmoed, M., Timmermans, B.G.H., Bloem, J., van Asperen, P., Cruijssen, J., De Haan, J., Selin Norén, I., Slier, T., Wagenaar, J.P., Elsen, A., Martens, S., Koopmans, C.J. (2021). *Verschillen in bodemkwaliteit door koolstofmaatregelen; In beeld gebracht aan de hand van de BLNindicatorset*. Louis Bolk Instituut en Wageningen Research, 37 p.
- Jansma, A. P., Hoekstra, N., Eekeren, N. V., Stip, A., Iepema, G. L., Manhoudt, A. G. E., & Sleurink, W. D. (2021). *Koeien en kruiden (Doctoral dissertation, Van Hall Larenstein)*. p. 20-25
- Koopmans, C.J., Timmermans, B., Wagenaar, J.P., van 't Hull, J.P., Hanegraaf, M.C., de Haan, J.J., (2019). *Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof: Resultaten uit Lange Termijn Experimenten (LTE's)*. Louis Bolk Instituut en Wageningen Research, 54 p.
- Koopmans, C.J., Timmermans, B., Wagenaar, J.P., van 't Hull, J., Hanegraaf, M.C. en de Haan, J.J. (2019). *Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof: Bijlagen*. Louis Bolk Instituut en Wageningen Research, 54 p.
- Koopmans, C.J., Timmermans, B., de Haan, J., van Opheusden M., Selin Norén, I., Slier, T., Wagenaar, J.P. (2020). *Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden 2019-2023: voortgangsrapportage april 2020*. Louis Bolk Instituut en Wageningen Research.
- Koopmans (2021). Koopmans, C.J, Timmermans, B.G.H., Hoogmoed, M., Heupink, D., Cruijssen, J.J.P. Cruijssen, de Haan, J., Selin Norén, I., Slier, T., Wagenaar, J.P. (2020). *Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden 2019-2023: Voortgangsrapportage juni 2021*. Louis Bolk Instituut en Wageningen Research, 48 p.
- Lesschen, J. P., Heesmans, H. I. M., Mol-Dijkstra, J. P., van Doorn, A. M., Verkaik, E., van den Wyngaert, I. J. J., & Kuikman, P. J. (2012). *Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw en natuur* (No. 2396). Alterra.
- Lesschen, J. P., Hendriks, C., Slier, T., Porre, R., Velthof, G., & Rietra, R. (2021). *De potentie voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw*. (No3130). Wageningen Research.

Bijlage 1. LTE Proefopzet beschrijvingen

Akkerbouw

1. Compost toevoegen (Bodemkundige Dienst België – Bierbeek)

Door compost toe te voegen wordt via de bemesting organische stof aangevoerd. In het experiment van de Bodemkundige Dienst van België, gelegen op een lemige grond te Bierbeek, Vlaanderen, wordt sinds 1997 de toepassing van verschillende composthoeveelheden met elkaar vergeleken. Op het perceel vindt een vruchtwisseling plaats van suikerbiet, aardappelen, wortelen, uien en wintertarwe, met gele mosterd als groenbemester na de wintertarwe. De wintertarwe wordt een op twee geteeld, na een jaar hak- of rooivruchten volgt een jaar met wintertarwe en gele mosterd. Naast de compostbemesting wordt afhankelijk van de teelt de bemesting aangevuld met kunstmest.

Behandeling	Herhalingen	Beschrijving
onbemest	4	geen bemesting
kunstmest	4	alleen bemesting met kunstmest
jaarlijks 15 ton/ha	4	jaarlijks 15 ton/ha compost, aangevuld met kunstmest
jaarlijks 30 ton/ha	4	jaarlijks 30 ton/ha compost, aangevuld met kunstmest
jaarlijks 45 ton/ha	4	jaarlijks 45 ton/ha compost, aangevuld met kunstmest

2. Groenbemesters (WUR - Wageningen)

Groenbemesters kunnen bijdragen aan het organische gehalte doordat het gewas na de teelt wordt ingewerkt. Groenbemesters kunnen mono of in mengsels worden geteeld. Het *Clever cover cropping* experiment op proefboerderij Nergena in Wageningen zijn verschillende behandelingen bemeten waarin de effecten van groenbemesters en groenbemestermengsels worden onderzocht. Het experiment is gestart in 2016 en ligt in een gangbare gewasrotatie met wintertarwe, maïs, aardappelen, zomergerst en erwten. In 2019 waren erwten het hoofdgewas. Op dit perceel worden 5 behandelingen als nateelt met elkaar vergeleken: zwarte braak, bladrammenas, Japanse haver, een mengsel van bladrammenas en Japanse haver en een mengsel van bladrammenas en Japanse haver en wikke. Het perceel wordt bemest met kunstmest (30 kg N/ha). Dit wordt jaarlijks toegepast.

Behandeling	Herhalingen	Beschrijving
Zwarte braak	5	geen nateelt
Bladrammenas	5	nateelt bovengrondse biomassa
Japanse haver	5	nateelt ondergrondse biomassa
Bladrammenas + Jap. haver	5	mengsel
Bladrammenas + Jap. Haver + wikke	5	mengsel met vlinderbloemige

3. Meerjarige akkerranden op klei (Hoeksche Waard) en zand (Groningen)

In theorie kunnen meerjarige akkerranden bijdragen aan het vastleggen van koolstof doordat de grassige en/of kruidenrijke vegetatie meerdere jaren de kans krijgt om te groeien zonder dat de grond wordt bewerkt. Hierbij is dus het meerjarige aspect van de akkerrand van belang, evenals het aantal jaren waarin de rand ligt. Om de bijdrage van meerjarige akkerranden in kaart te brengen zijn metingen uitgevoerd op praktijkpercelen en de bijbehorende akkerrand van in de Hoeksche Waard (klei) en in Groningen (zand). De bedrijven zijn geselecteerd via de plaatselijke agrarische natuurverenigingen, respectievelijk Coöperatie Collectief Hoeksche Waard (CCHW) en de Agrarische Natuurvereniging Oost-Groningen (ANOG). Bedrijven met relatief lang liggende meerjarige akkerranden zijn geselecteerd. Per bedrijf is een selectie gemaakt van acht percelen en bijbehorende randen waarop is gemeten. Hierbij dient het perceel als referentie voor de bijbehorende rand. In de Hoeksche Waard is gemeten in randen die er vanaf 2005 liggen. Deze randen worden niet bemest en maximaal tweemaal per jaar geklepeld. Maaisel wordt incidenteel afgevoerd (twee à driemaal in de 15 jaar). Jaarlijks wordt slootbagger opgebracht op de rand. De referentiepercelen aldaar hebben een vruchtwisseling met wintertarwe, aardappelen, peulvruchten, zomergerst, suikerbiet en uien en worden bemest met kunstmest en champost. De randen in Groningen liggen er op zijn minst sinds 2009, maar hier is in 2016 en 2017 aardappel verbouwt. De referentiepercelen hebben een vruchtwisseling met hennep, aardappelen, gerst en suikerbieten.

Hoeksche Waard:

Behandeling	Herhalingen	Beschrijving
Meerjarige akkerrand	8	Kruidenrijke grasrand onder agrarisch natuurbeheer, sinds 2005
Perceel	8	Akkerbouwperceel onder gangbaar beheer

Groningen:

Behandeling	Herhalingen	Beschrijving
Meerjarige akkerrand	8	Kruidenrijke grasrand onder agrarisch natuurbeheer, sinds 2009 m.u.v. 2016 en 2017
Perceel	7*	Akkerbouwperceel onder gangbaar beheer

* één perceel is niet bemonsterd wegens onduidelijkheid over de locatie

Veehouderij

4. Leeftijd grasland en wisselteelt mais en gras op zand (Brabant)

Naast permanent grasland hebben veel melkveebedrijven tijdelijk grasland en maisteelt. Dit kan als een soort permanente teelten, of door in verschillende frequentie af te wisselen. In 2019 is op zand geen positief effect op koolstofvastlegging gevonden van het verhogen van de leeftijd van grasland op zand. Mogelijk lag de oorzaak hier bij een relatief hoog organisch stofgehalte in de jonge graslanden, veroorzaakt door een verleden met (lang)jarige perioden van grasland op dat perceel. In 2019 is ook een eerste verkennende meting gedaan naar de wisselteelt van mais en gras, maar hier konden door het klein aantal onderzochte percelen geen conclusies aan verbonden worden.

Om over zowel het verhogen van de leeftijd van het grasland als de wisselteelt van mais en gras op zand uitspraken te kunnen doen zijn in 2020 percelen geselecteerd uit het veehouderijnetwerk Duinboeren. Dit netwerk ligt in midden-Brabant vlakbij het natuurgebied 'de Loonse en Drunense Duinen'. De veehouders in het netwerk zetten zich in voor goed en evenwichtig landschapsbeheer. De percelen zijn geselecteerd in vier categorieën: mais na gras, permanent grasland, gras na mais en continue bouwland. Hierbij is erop gelet dat de percelen in de categorie gras na mais voor de inzaai van gras in ieder geval sinds 2009 bouwland waren.

Behandeling	Gemiddeld aantal jaar	Aantal percelen
Mais na gras	1 (range 1-4 jaar)	8
Permanent grasland	>10 jaar	4
Gras na mais	3 (range 1-6 jaar)	5
Continue bouwland	>10 jaar	6

5. Kruidenrijk grasland op klei (Dairy campus – Friesland) en zand (Kelpen Oler, Limburg)

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

In de proef op klei (Dairy Campus) zijn naast de in 2018 bemonsterde behandelingen BPW, BFW en controle met drijfmestbemesting ook deze behandelingen maar dan bemest met stalmest bemonsterd. Stal- of vaste mest wordt vaker toegepast op kruidenrijk grasland omdat het bijdraagt aan haar functie voor biodiversiteit. Vaste mest kan echter mogelijk ook bijdragen aan koolstofvastlegging door een hogere input van organische stof ten opzichte van drijfmest.

Limburg:

Behandeling	Herhalingen	Beschrijving
Biodivers primair weidevogelmengsel (B3)	4	Hoog percentage kruiden, hoge soortdiversiteit, drijfmest
Biodivers functioneel weidevogelmengsel (B3)	4	Hoog percentage kruiden, lagere soortdiversiteit, hoog percentage vlinderbloemigen, drijfmest
Gras (B3)	4	Controle, drijfmest

Friesland:

Behandeling	Herhalingen	Beschrijving
Biodivers primair weidevogelmengsel (B3)	4	Hoog percentage kruiden, hoge soortdiversiteit, drijfmest
Biodivers functioneel weidevogelmengsel (B3)	4	Hoog percentage kruiden, lagere soortdiversiteit, hoog percentage vlinderbloemigen, drijfmest
Gras (B3)	4	Controle, drijfmest
Biodivers primair weidevogelmengsel (B1)	4	Hoog percentage kruiden, hoge soortdiversiteit, stalmest, uitgestelde maaidatum
Biodivers functioneel weidevogelmengsel (B1)	4	Hoog percentage kruiden, lagere soortdiversiteit, hoog percentage vlinderbloemigen, stalmest, uitgestelde maaidatum
Gras (B1)	4	Controle, stalmest, uitgestelde maaidatum

Bijlage 2. Toelichting op de gemeten (BLN) indicatoren

Organische stof

Koolstof gehalte (C-ele)

Het koolstof gehalte bepaald met de C-elementair methode is de meest betrouwbare methode om het koolstofgehalte in de bodem te bepalen. De bodemorganische stof bestaat voor ongeveer 50% uit koolstof. Om de koolstof voorraad in de bodem vast te stellen is het C-gehalte belangrijk. Daarnaast moet de bulkdichtheid van de bodem bekend. C-elementair wordt gemeten volgens Dumas.

Organische stofgehalte

Organische stof speelt een centrale rol in de bodemkwaliteit. Het bepaald bodemeigenschappen rond nutriënten huishouden, water- en luchtbalans en structuur. Organische stof is voedsel voor bodemleven en daarmee de motor voor bodem biologische processen. Bepaling van het organisch stofgehalte verloopt via een klassieke methode met bepaling van het gleiverlies en de afgeleide nieuwe en goedkopere methode met NIRS.

Hot Water extractable Carbon (HWC)

Dit betreft de koolstof die oplost in heet water (80 °C). HWC is een maat voor gemakkelijk beschikbare organische stof en daarmee tevens een relatieve simpele indicator voor de activiteit van het bodemleven. HWC is een indicator die in een vroeg stadium veranderingen in organische stof kan weergeven.

Fysisch

Klei (textuur)

Klei is een bepalend bestanddeel van de minerale samenstelling van een bodem. De samenstelling wordt wel textuur genoemd. Deze wordt bepaald door de korrelgrootte verdeling van klei (lutum < 2 µm), silt (2-50 µm) en zand (50-2000 µm). De textuur bepaald vele fysische en chemische eigenschappen van de bodem en is daarmee van groot belang hoe processen in de bodem verlopen. De koolstofvastlegging en organische stof voorraad wordt voor een groot deel door de textuur (kleigehalte) van een bodem bepaald.

Indringingsweerstand

De indringingsweerstand is een indicatie van de weerstand die een wortel zou ondervinden bij groei in de bodem. Met de indringingsweerstand kan worden vastgesteld wat de gemiddelde weerstand van de bodem is en geeft daarmee ook inzicht in de doorlaatbaarheid (bijv. waterinfiltratie) en doordringbaarheid (bijv. bewortelbaarheid) van de bodem. De maximale indringingsweerstand geeft aan of een ondoordringbare laag de beworteling naar dieper lagen belemmert.

Bulkdichtheid

De droge bulkdichtheid geeft de droge massa van de vaste fractie (gronddeeltjes en organische stof) weer per volume grond in een onverstoorde natuurlijke toestand. Deze indicator is essentieel om het C-gehalte van een bodem (%) om te rekenen naar de totale koolstof voorraad en daarmee vast te kunnen stellen of er sprake is van verandering in de totale koolstof voorraad.

Watervasthoudend vermogen

Het watervasthoudend vermogen van de bodem is een maat voor de hoeveelheid vocht dat de bodem kan vasthouden in de poriën van een bepaalde laag. Deze indicator geeft inzicht in de hoeveelheid vocht dat beschikbaar is voor een gewas. Watervasthoudend vermogen wordt berekend op basis van een pF bepaling in het laboratorium. Het verschil tussen pF2 (veldcapaciteit) en pF 4,2 (verwelkingspunt, overeenkomend met ca 160 cm afstand van het maaiveld tot het grondwater) is een maat voor het watervasthoudend vermogen.

Scherpblokkige structuurdelen

De bodemstructuur wordt visueel beoordeeld op basis van een gestandaardiseerd protocol (Koopmans et al., 2019) voor de visuele bodembeoordeling waarbij de aggregaat grootte verdeling en de vorm van de aggregaten (scherphoekig, afgerond, kruimel) worden ingeschat. Het % scherpblokkige structuurdelen is een maat voor de structuur van de bodem. Scherpblokkige structuurdelen zijn niet doorwortelbaar en organische stof en nutriënten zijn vrijwel niet toegankelijk voor gewasopname.

Beworteling

De beworteling van een gewas kan vastgesteld worden door de visuele bodembeoordeling. Bij een visuele bodemscan wordt o.a. de bewortelingsdiepte en bewortelingsintensiteit vastgesteld. Op basis van een vergelijking tussen de potentiële bewortelingsintensiteit en de waargenomen bewortelingsintensiteit wordt een indexwaarde toegekend, waarbij de waarde 0 staat voor lichte beworteling, 1 voor redelijke beworteling en 2 voor intensieve beworteling.

Chemisch

pH

pH geeft de zuurgraad van een bodem weer. Dat is de absolute waarde van de negatieve logaritme van de concentratie H^+ ionen. De zuurgraad is van invloed op onder andere de beschikbaarheid van nutriënten in de bodem voor opname door een gewas. Daarnaast beïnvloedt de zuurgraad ook het bodemleven (o.a. activiteit), afbraak van organische stof en de structuur van de bodem. De pH- $CaCl_2$ is de pH gemeten in een $CaCl_2$ extract vergelijkbaar met de condities rond plantenwortels in een bodem.

Stikstof (N)

Stikstof is een essentieel nutriënt voor de plantengroei. N-totaal bestaat uit organische stikstof (in organische stof) en anorganische stikstof (N-mineraal: NH_4-N en NO_3-N) in de bodemoplossing. N-totaal is gemeten met de klassieke Kjeldahl methode en de nieuwe, goedkopere variant volgens NIRS. N-mineraal is bepaald in een $CaCl_2$ extract.

Fosfaat (P)

Fosfor is ook een essentieel nutriënt voor plantengroei. Bij bemestingsadviezen voor het bepalen van de fosfaatgift wordt rekening gehouden met de fosfaattoestand (fosfaatstatus) in de bouwvoor van de bodem en de gewasbehoefte. Onderscheid is gemaakt in de plant beschikbare fosfaat ($CaCl_2$ extract of P-PAE) en de bodemvoorraad (P-AL). Daarnaast is de wateroplosbare fosfaat bepaald (Pw).

Kalium (K)

Kalium is, net zoals fosfor en stikstof een essentieel nutriënt voor plantengroei. Er bestaan verschillende chemische extractiemethoden om de kaliumtoestand van de bodem te bepalen. Onderscheid is gemaakt in voor de plant beschikbare kalium ($CaCl_2$ extract: K-PAE) en de kalium bodemvoorraad volgens NIRS.

Biologisch

Potentieel mineraliseerbare N (PMN)

PMN is een maat voor gemakkelijk afbreekbare, mineraliseerbare stikstof. De PMN wijst op de bodemleven activiteit in de bodem. Een hoger organische stofgehalte correleert met een hogere PMN. Meer PMN is een aanwijzing voor meer C- en N-mineralisatie en vaak ook voor een betere bodemstructuur. De PMN is gemeten volgens NIRS die correleert met een klassieke incubatietechniek.

Microbiële biomassa

Het microbiële bodemleven is bepalend voor de snelheid waarmee processen zich in de bodem kunnen voltrekken. Zo is de afbraak van organische stof afhankelijk van dit bodemleven. Er is nog veel onbekend over de exacte werking van het bodemleven en voedselweb. De microbiële biomassa volgens NIRS in een snelle en goedkope analyse voor een overall indicatie van het bodemleven.

Bacteriebiomassa

Bacteriën zijn belangrijke afbrekers van organische stof, en vormen de basis van het bodemvoedselweb. De hoeveelheid en activiteit van bacteriën wordt bevorderd door organische stof in de bodem. De bacteriële biomassa is volgens NIRS gemeten en correleert met de klassieke meting van bacterie-vetzuren in de bodem (PLFA's).

Schimmelbiomassa

Schimmels vormen samen met bacteriën de basis van het voedselweb. Schimmeldraden vormen netwerken rond organisch materiaal en gronddeeltjes en dragen zo bij aan een goede kruimelige structuur. De schimmel biomassa omvat vele typen schimmels waaronder ook mycorrhiza schimmels die in symbiose leven met plantenwortels. De schimmelbiomassa is volgens NIRS gemeten en correleert met klassieke meting van schimmel-vetzuren in de bodem (PLFA's).