

# Effecten van koolstofvastleggende maatregelen op de (BLN)- bodemkwaliteit indicatoren - Deel 3

Hoogmoed, M., den Toonder, J., Schepens, J.A.B., Vervuurt, W. en Koopmans, C.

## Inhoudsopgave

1	Samenvatting .....	3
2	Inleiding.....	7
	2.1 Doelstelling.....	8
	2.2 Leeswijzer .....	8
3	Werkwijze .....	9
	3.1 Algemeen.....	9
	3.2 Beschrijving LTE's en selectie bedrijfspercelen .....	10
	3.2.1 Aanpassen gewasrotatie .....	10
	3.2.2 Groenbemesters.....	11
	3.2.3 Akkerranden.....	12
	3.2.4 Leeftijd grasland verhogen en wisselteelt mais-grasklaver .....	13
	3.2.5 Kruidenrijk grasland .....	14
	3.2.6 Agroforestry (veehouderij).....	14
	3.3 Metingen aan koolstofvastlegging en BLN-indicatoren.....	15
	3.4 Statistiek .....	16
4	Resultaten en discussie per maatregel .....	18
	4.1. Aanpassen gewasrotatie (aandeel graan) .....	18
	4.2. Groenbemesters .....	21
	4.3. Akkerranden .....	24
	4.4. Wisselteelt mais-grasklaver.....	26
	4.5. Leeftijd grasland verhogen .....	31
	4.6. Kruidenrijk grasland.....	33
	4.7. Agroforestry (Veehouderij) .....	35
5	Conclusie .....	38
6	Referenties .....	40
7	Bijlagen.....	41
	7.1 Toelichting op de gemeten (BLN) indicatoren .....	41

# 1 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) bestudeerd. Met de opgedane kennis wordt bijgedragen aan de, in 2019 in het klimaatakkoord vastgestelde doelstelling, om vanaf 2030 jaarlijks 0,5 Mton CO<sub>2</sub>-eq emissie te reduceren door vastlegging van koolstof in minerale landbouwgronden. Binnen Slim Landgebruik wordt tevens onderzocht in hoeverre koolstofvastleggende maatregelen gepaard gaan met het bijkomstig behouden van- of verbeteren van de bodemkwaliteit en daarmee kan worden bijdragen aan duurzaam bodembeheer zoals verwoord in het Nationaal Programma Landbouwbodems (NPL). Vanaf 2019 zijn daartoe de koolstofmetingen in de LTE's aangevuld met bodemkwaliteitsmetingen aansluitend bij de indicatorset van de Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland (BLN1.0). Deze set bevat naast organische stof indicatoren ook fysische, chemische en biologische indicatoren van bodemkwaliteit. Hiermee kan het 'meekoppelen' van de bodemkwaliteit met de koolstofvastleggende maatregelen worden onderzocht. In 2021 is een eerste rapport (Hoogmoed *et al.*, 2021) (Deel 1) opgeleverd met de metingen uit 2019. In 2022 (Deel 2) is een tweede rapport gepubliceerd met de metingen uit 2020, waarin meer focus lag op maatregelen voor de veehouderijsector (Schepens *et al.*, 2022b). In voorliggend rapport (deel 3) worden de effecten van aanvullende klimaatmaatregelen en metingen, uitgevoerd in 2021, gepresenteerd. De maatregelen die zijn onderzocht omvatten het aanpassen van de gewasrotatie (verhoging graanaandeel), de inzet van groenbemesters, het aanleggen van meerjarige akkerranden, overschakelen naar wisselteelt van mais en gras, het verhogen van de leeftijd van grasland, het inzetten van kruidenrijk grasland en het toepassen van agroforestry. In het hiernavolgende zullen de belangrijkste bevindingen per maatregel kort worden samengevat. Merk hierbij op dat een "(+)" in de tekst betekent dat de maatregel zorgde voor een stijging van de waarde van besproken indicator en een "(-)" dat de maatregel zorgde voor een daling van de waarde van deze indicator. Significante effecten worden vastgesteld bij een p-waarde van <0,05 en trendmatige effecten bij een p waarde van <0,1. Een overzicht van de resultaten kan worden gevonden in Tabel 1.

## Aanpassen gewasrotatie (aandeel graan)

Deze maatregel bestaat uit het verhogen van het aandeel van rustgewassen (in de vorm van graangewassen) in de rotatie. De maatregel is onderzocht op zowel kleigrond als zandgrond. Op zandgrond zijn geen significante effecten ( $p < 0,05$ ) van de maatregelen op de bodemindicatoren gevonden. Dit komt waarschijnlijk door het beperkt aantal bemonsterde percelen in combinatie met veel variatie tussen de percelen. Op kleigrond had de maatregel een significant of trendmatig effect op meerdere organische stof indicatoren (+) en op de stikstofvoorraad (+). Tevens had de maatregel op klei een significant effect op de gemiddelde indringingsweerstand (-) en werd een trendeffect ( $p < 0,1$ ) gevonden voor de bulkdichtheid (-). Er werd daarnaast een significant effect van de maatregel gevonden op alle biologische indicatoren (+). Kortom, de maatregel resulteerde op kleigrond in significante en trendmatige effecten. Echter moet worden opgemerkt dat (niet-significante) verschillen in kleigehalte van percelen mogelijk ook een rol spelen in het beïnvloeden van de overige indicatoren.

## Groenbemesters

Deze maatregel bestaat uit de inzet van groenbemesters na de teelt van het hoofdgewas, welke vervolgens worden ingewerkt in de bodem. In dit project is onderzoek gedaan naar verschillende hoofdgewassen (mais en veldboon) in combinatie met verschillende groenbemester(mengsel)s op Duitse leemgrond. Alleen in de rotatie met veldboon zijn significante effecten gevonden van de groenbemesterbehandeling: alle groenbemester behandelingen hadden een significant effect op het water vasthoudend vermogen (+), bij gele mosterd is daarnaast ook een significant effect gevonden op de beschikbare kalium concentratie (+). Mogelijk was het aantal jaar waarin er een groenbemester is geteeld te beperkt geweest, in combinatie met een beperkt aantal experimentele herhalingen, om effecten van groenbemesters op de bodem organische stof te kunnen aantonen.

#### Akkerranden

Deze maatregel bestaat uit het inzetten van meerjarige niet bemeste akkerranden in de vorm van kruid- en grasachtigen langs een perceel. De maatregel is onderzocht op zowel klei als zandgrond. Hierbij is de bodem onder de meerjarige akkerrand vergeleken met de bodem van een aangrenzend perceel. Op zandgrond is alleen een significant effect gevonden van de maatregel op de kaliumvoorraad (+) en een trendeffect op de maximale indringingsweerstand (+). Op klei zijn significante effecten gevonden van de behandeling op alle organische stof indicatoren (+), op de indringingsweerstand (+), op de voorraad van stikstof en kalium (+), op de beschikbaarheid van kalium (-), en op de totale microbiomassa en schimmelbiomassa (+). Verder is er op kleigrond ook een trendeffect van de maatregel waargenomen op minerale stikstof (-) en fosforbeschikbaarheid (-). Interessant is dat ondanks de grotere voorraad stikstof en kalium in de akkerranden van de kleigrond, er een lagere beschikbaarheid van deze elementen werd gemeten.

#### Wisselteelt mais-grasklaver

Bij deze maatregel wordt het bedrijf ingedeeld met 60% permanent grasland en 20% grasklaver in een driejarige rotatie met 20% mais. Ten opzichte van de huidige gangbare bedrijfsvoering (in Overijssel en Noord-Brabant) betekent dit globaal een stijging van het aandeel permanent grasland ten koste van continu bouwland en tijdelijk grasland. De maatregel is onderzocht op verschillende zandgronden. Op basis van de resultaten kan voorzichtig gesteld worden dat de maatregel op bedrijfsniveau naar verwachting effect zal hebben op de organische stof indicatoren (+). Bij de overstap op een wisselsysteem kan daarnaast een effect op de indringingsweerstand en bulkdichtheid van de bodem op bedrijfsniveau worden verwacht (+), wat mogelijk gevolgen heeft voor de maisteelt. De overstap naar een wisselsysteem zal waarschijnlijk resulteren in veranderingen in concentraties en beschikbaarheid van P en K (-), en van N<sub>min</sub> en N totaal voorraad (+). Ten slotte wordt bij overstap een verandering in de microbiële biomassa verwacht (+).

#### Leeftijd grasland verhogen

De maatregel is onderzocht op zandgrond. Op zand houdt deze maatregel in dat grasland niet wordt omgezet naar bouwland. Er zijn graslandpercelen van verschillende leeftijden vergeleken met continu bouwland. De maatregel had effect op alle organische stof indicatoren bij een verhoging van de leeftijd na 10 jaar (+) maar niet na 5 jaar, ten opzichte van continu bouwland. Hetzelfde geldt voor de totale voorraad stikstof (+) en alle biologische indicatoren (+). De teelt van grasland ten opzichte van bouwland had tevens een effect op de indringingsweerstand (+). Kortom, het verhogen van de leeftijd van grasland heeft veel effecten op BNL indicatoren, maar nog niet na 5 jaar en wel na 10 jaar.

#### Kruidenrijk grasland

Deze maatregel bestaat uit het inzetten van graskruidenmengsels in het grasland in plaats van enkel Engels raaigras. De maatregel is onderzocht op zandgrond. Wanneer percelen met productief kruidenrijk grasland werden vergeleken met percelen met Engels raaigras werden geen effecten gevonden. Wanneer echter Engels raaigras met extensief kruidenrijk grasland werd vergeleken was er een significant effect van kruidenrijk grasland op één organische stof indicator (HWC, -), de pH (-), de kalium beschikbaarheid (-) en de schimmel biomassa (+). Een mogelijke verklaring voor het verschil in organische stof is dat boeren eerder de minder productieve percelen kiezen voor de teelt van kruidenrijk grasland/extensief grasland dan de meer productieve percelen.

#### Agroforestry

Deze maatregel bestaat uit het telen van meerjarige houtige gewassen (vaak bomen) in een weide of als strook tussen akkergewassen. De maatregel is onderzocht op zandgrond. De metingen hebben plaatsgevonden in graslandpercelen die aan één zijde werd begrensd door een volwassen houtwal. Er zijn op verschillende afstanden van de houtwal bodemonsters genomen en metingen tot een afstand van 20 m tot de houtwal zijn samengevoegd en geanalyseerd. Agroforestry had een significant effect op twee, en een trendeffect op één, organische stof indicator (+). Ook had de maatregel een significant effect op het aantal scherpblokkige delen (-), maar op de overige bodemfysische indicatoren werd geen effect gevonden. Een aantal chemische indicatoren waren significant anders bij de agroforestry maatregel, namelijk minerale stikstof (+), beschikbare fosfaat (+) en voorraad (+), en de beschikbare kalium (+). Voor de totale stikstof gemeten via de NIRS methode, en

beschikbare fosfaat gemeten via P-PAE was een trendmatig effect van de maatregel gevonden (+). De verhoogde gehalten kunnen mogelijk verklaard worden door meer mest van koeien die zich meer in de schaduw begeven. Anderzijds kan het ook zijn dat door de schaduw van de bomen er minder grasproductie is, waardoor er ook minder opname van nutriënten door het gewas plaatsvindt.

Op basis van dit onderzoek kan geconcludeerd worden dat de geanalyseerde koolstofvastleggende maatregelen over het algemeen een neutraal tot positief effect hebben op organische stof indicatoren en andere bodemkwaliteitsindicatoren. Wanneer de maatregel op zowel klei als zand is onderzocht werden in kleigrond meer of grotere effecten gevonden. Meer gedetailleerde analyses en verklaringen van de resultaten zijn te vinden in het bijbehorende rapport.

Tabel 1. Resultatenoverzicht per maatregel. In de tabel worden symbolen gebruikt om effecten aan te duiden: '++' geeft een significant positief effect aan, '+' duidt op een trendmatig positief effect ( $p < 0,10$ ), '--' wijst op een significant negatief effect, en '-' geeft een trendmatig negatief effect aan ( $p < 0,10$ ).

			Aanpassen gewasrotatie		Groenbemesters (op Duitse löss)		Akkerrand		Wisselteelt (mais-grasklaver)	Leeftijd grasland (op zand)		Kruidenrijk grasland (op zand)		Agroforestry
Meting	Eenheid		Zand	Klei	Rotatie met veldboon	Rotatie met mais	Zand	Klei		1-5 jr	>10 jr	Productief	Extensief	Zand
Organische stof	C-ele	%		+				++	++		++			
	OS-gloeï	%						++	++		++			+
	OS - N	%		+				++	++		++			++
	HWC	mg kg <sup>-1</sup>		++				++	++		++		--	++
Fysisch	Klei	%												
	Indr Max	MPa					+	++						
	Indr gem	MPa		--				++	++	++	++			
	bd	kg m <sup>-3</sup>		-					++			-		
	WVV	%			++ *									
	% Scherpb	%												--
	Beworteling	index 0-2							++					
Chemisch	pH-CaCl <sub>2</sub>							--					--	
	N-tot N	g N kg <sup>-1</sup>		++				++	++		++			+
	N-tot K	g N kg <sup>-1</sup>		++					++		++			
	N-min	kg ha <sup>-1</sup>						-						++
	P-PAE	mg P kg <sup>-1</sup>						-	-					+
	Pw	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup>							-					++
	PAL	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100g <sup>-1</sup>												++
	K-PAE	mg K kg <sup>-1</sup>			++ **								--	++
K-voor N	mmol+ K kg <sup>-1</sup>						++	++						
Biologisch	PMN N	mg N kg <sup>-1</sup>		++					++		++			
	Microb biom	mg C kg <sup>-1</sup>		++				++	++		++			
	Bact Biom	mg C kg <sup>-1</sup>		++					++		++			
	Schim biom	mg C kg <sup>-1</sup>		++				++	++		++			

\* mix>gele mosterd>braak. \*\* Alleen voor gele mosterd.

## 2 Inleiding

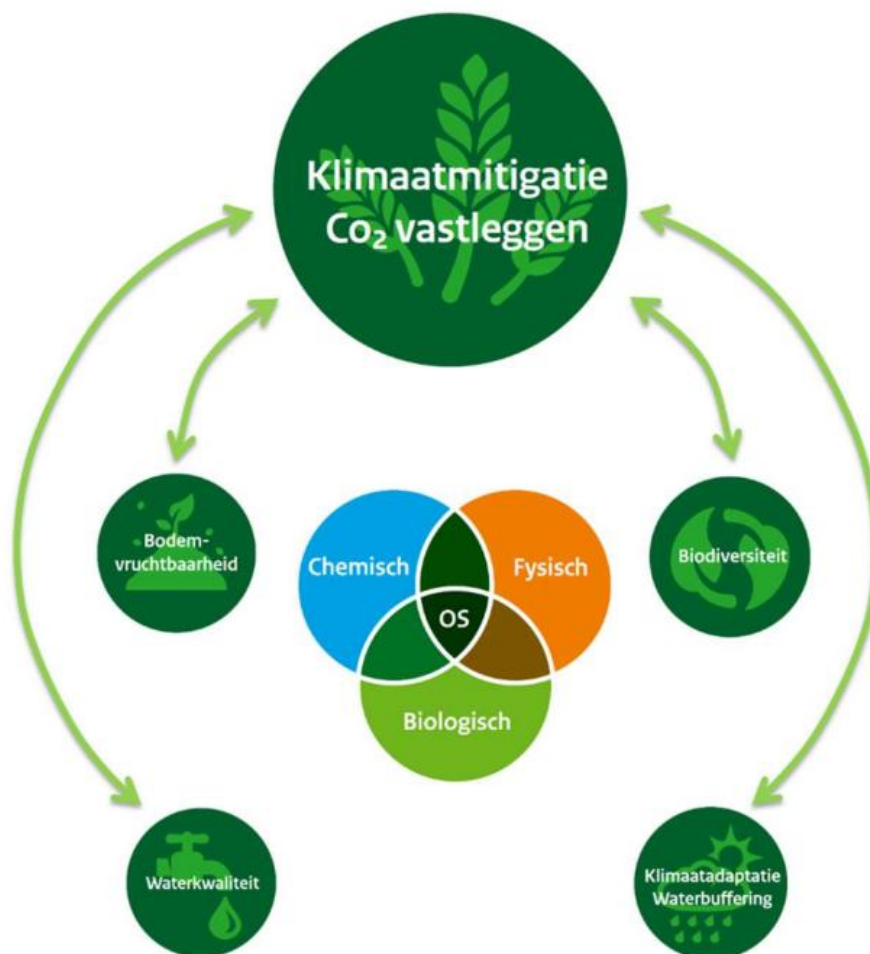
Als onderdeel van het Klimaatakkoord uit 2018 heeft de landbouwsector zich gecommitteerd aan klimaatdoelstellingen. Een onderdeel daarvan is het doel om 0,5 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten extra per jaar vast te leggen in minerale landbouwbodems, met ingang van 2030. Deze doelstelling is ook één van 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 (SL) onderzoek gedaan naar landbouwkundige maatregelen die koolstofvastlegging in de bodem effectief kunnen bevorderen. Deze maatregelen hebben naar verwachting ook effecten op de bodemkwaliteit. De vraag is in hoeverre deze koolstof vastleggende maatregelen bijdragen aan duurzaam bodembeheer, aansluitend bij de beleidsdoelstelling uit het NPL om alle landbouwbodems duurzaam te beheren in 2030. Om deze vraag te kunnen beantwoorden zijn er binnen SL koolstofbepalingen verricht in lange termijn experimenten (LTEs) en aan praktijkpercelen. Daarnaast is gemeten aan de bodemkwaliteit aansluitend bij de indicatorset die is beschreven in Hanegraaf et al. (2019): de Bodemindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland (BLN). 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). De metingen binnen dit onderzoek sluiten aan bij de kernset zoals beschreven door Hanegraaf (2019).

Binnen Slim Landgebruik is in 2019 middels lange termijn experimenten (LTE) gekeken naar het effect van verschillende maatregelen op koolstofvastlegging (Koopmans et al., 2020) en het effect op de bodemkwaliteit (Hoogmoed et al., 2021) (deel 1). De focus lag op de volgende maatregelen: niet-kerende grondbewerking, verbeteren gewasrotaties, compost toevoegen, dierlijke mest toevoegen en leeftijd grasland verhogen. In 2020 is het effect van aanvullende klimaatmaatregelen op koolstofvastlegging (Koopmans et al., 2021) en bodemkwaliteit (Schepens et al., 2022b) (deel 2) onderzocht; naast de maatregel compost toevoegen en leeftijd grasland verhogen, werd aanvullend gekeken naar inzet van groenbemesters, meerjarige akkerranden, wisselteelt mais-gras(kalver) en kruidenrijk grasland.

In voorliggend rapport worden nieuwe resultaten gepresenteerd van de klimaatmaatregelen bemonsterd in het najaar van 2021 (deel 3). De volgende maatregelen zijn onderzocht en opgenomen in deze rapportage: (1) Aanpassen gewasrotatie (aandeel graan), (2) Groenbemesters, (3) Akkerranden, (4) Wisselteelt mais-grasklaver, (5) Leeftijd grasland verhogen, (6) Kruidenrijk grasland en (7) Agroforestry. Wanneer mogelijk is er een onderscheid gemaakt tussen zand- en kleigronden op basis van de Bodemkaart van de Basisregistratie Ondergrond. Er is onderzoek gedaan naar de neveneffecten die deze klimaatmaatregelen met zich meebrengen, ook wel bekend als "meekoppel-effecten". Deze meekoppel-effecten omvatten aanvullende consequenties van koolstofvastleggende maatregelen, die naast het verhogen van koolstofopslag ook invloed hebben op andere kwaliteitsindicatoren van de bodem. Dit is beoordeeld aan de hand van kwantificering van BNL-indicatoren. Er is dus gekeken naar de meekoppel-effecten van koolstofvastleggende maatregelen, niet naar de relatie tussen het bodemorganisch koolstofgehalte en overige bodemkwaliteitsaspecten.

In het synthese-rapport van Vervuurt et al. (in voorbereiding) worden de resultaten van de bevindingen van de drie afzonderlijke verslagen (Hoogmoed et al., 2021; Schepens et al., 2022; en het huidige rapport) met betrekking tot de impact van klimaatmaatregelen op de BLN-indicatoren samengebracht. Binnen deze analyse wordt een evaluatiesysteem toegepast om vast te stellen welke maatregelen bijdragen aan een duurzaam bodembeheer.



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

## 2.1 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is om de meekoppel-effecten van koolstofvastleggende maatregelen op bodemkwaliteitsindicatoren (meekoppel-effecten) inzichtelijk te maken. Dit biedt een inzicht in hoe maatregelen bijdragen aan verschillende "andere" bodemfuncties dan koolstofvastlegging (klimaatmitigatie), zoals het bevorderen van bodemvruchtbaarheid, bodembiodiversiteit, klimaatadaptatie en waterkwaliteit.

## 2.2 Leeswijzer

- Hoofdstuk 3 behandelt de werkwijze en definities.
- Hoofdstuk 4 behandelt de resultaten en discussie van iedere maatregel afzonderlijk.
- Hoofdstuk 5 geeft de synthese van de resultaten en een korte eindconclusie.
- In Hoofdstuk 6 zijn de referenties gegeven en daarna de bijlagen.



## 3 Werkwijze

### 3.1 Algemeen

Voor de evaluatie van het effect van bodemmaatregelen op koolstofvastlegging en andere BLN-indicatoren zijn lange termijn experimenten (LTE's) uitgevoerd in Nederland, België en Duitsland. Hoewel deze LTE's vaak niet specifiek zijn opgezet om veranderingen in koolstof of bodemkwaliteit te meten, kunnen ze wel hiervoor worden gebruikt. Dit rapport evalueert de bodemkwaliteitseffecten in LTE's aan de hand van metingen uit 2021. Dit is aanvulling op de resultaten in eerdere jaren zoals beschreven in Hoogmoed et al. (2021) en Schepens et al. (2022b). De onderzochte maatregelen en locaties van de LTE's zijn weergegeven in Tabel 2.

Bij de selectie moest sprake zijn van een volwaardig LTE waarbij een koolstofvastleggende maatregel wordt vergeleken met een referentiebehandeling. De duur van deze experimenten is meerdere jaren omdat veranderingen in koolstofconcentraties in de bodem lang duren voordat deze meetbaar worden. In principe werd hiervoor een minimum duur van 7 jaar aangehouden, in overeenstemming met richtlijnen van de FAO. Echter was er voor de maatregel groenbemesters geen LTE beschikbaar die ouder dan 7 jaar was, daarom is daar afgeweken en een proef van 5 jaar bemonsterd. 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. Ook kan de maatregel in oplopende mate worden toegepast. Dit betreft bijvoorbeeld de oplopende leeftijd van grasland (=oplopende leeftijd) of een verandering in een bouwplan door middel van een oplopend aandeel graan in het bouwplan. In dit geval is bij de perceelselectie de voorwaarde gesteld dat de maatregelen gedurende een periode van 8 jaar was toegepast. Het gaat hierbij dus om metingen in één jaar waarbij een behandeling wordt vergeleken met de controle, er zijn geen tijdreeksen beschikbaar.

*Tabel 2. Onderzochte maatregelen en de locaties van de lange termijn experimenten of bedrijfspercelen, geanalyseerd in 2021. Voor een aantal maatregelen met bedrijfspercelen is sprake van een opbouwende dataset, waarbij data is verzameld tussen 2019 en 2021. Een uitgebreide beschrijving van de locaties van de lange termijn experimenten of bedrijfspercelen staat in sectie 3.2.*

Maatregel	Jaar	Klei	Zand
<b>Akkerbouw</b>			
Aanpassen gewasrotatie	2019-2021	<i>Centrale klei (bedrijven - Flevoland)</i>	<i>Zuidelijk zand (bedrijven - Brabant)</i>
Groenbemesters	2021		Duitse leem (Asendorf, Catchy 2)
Meerjarige akkerranden	2021	<i>Centrale klei (bedrijven - Flevoland)</i>	<i>Noordoostelijk zand (bedrijven - Drenthe)</i>
<b>Veehouderij</b>			
Leeftijd grasland verhogen	2019-2021		Zuidelijk zand (bedrijven - Brabant) en centraal zand (bedrijven Overijssel)
Kruidenrijk grasland	2021		<i>Centraal zand (bedrijven - Gelderland)</i>
Wisselteelt mais-grasklaver	2021		<i>Zuidelijk zand (bedrijven - Brabant) en centraal zand (bedrijven Overijssel)</i>
Agroforestry	2021		<i>Zuidelijk zand (bedrijven - Brabant)</i>

## 3.2 Beschrijving LTE's en selectie bedrijfspercelen

### 3.2.1 Aanpassen gewasrotatie

#### Aanpassen gewasrotatie op centrale klei (bedrijven – Flevoland) en zuidelijk zand (bedrijven – Brabant)

Het aanpassen van gewasrotaties met het oog op het vastleggen van koolstof kan worden gedaan door het verhogen van het aandeel graan, of door andere rustgewassen zoals bijvoorbeeld grasklaver, luzerne en graszaad in de gewasrotatie op te nemen. Voor nu wordt gefocust op het aandeel graan in de gewasrotatie. Daartoe zijn metingen uitgevoerd op praktijkpercelen van bedrijven met een voor de regio hoog en laag aandeel graan in de rotatie. De percelen zijn geselecteerd op basis van de gewashistorie gekoppeld aan de perceelsgegevens. Daarnaast zijn percelen binnen een regio geselecteerd met hetzelfde bodemtype, zoals gedefinieerd door de [gedetailleerde bodemkaart](#) in PDOK.

In 2019 zijn ook al een beperkt aantal percelen met veel en weinig graan bemonsterd, op zowel zuidelijk zand als centrale klei. In 2021 zijn extra percelen gezocht in dezelfde gebieden om de omvang van de meetset uit te breiden (zie Tabel 3). In de regio zuidoost Brabant wordt er erg weinig graan verbouwd. Hierdoor was het lastig om voldoende percelen met veel graan in de gewasrotatie te vinden. De percelen die pas in 2020 begonnen met meer graan telen zijn niet meegenomen in de analyse, aangezien hier nog geen effect op koolstof kan worden verwacht. Daarnaast bleek het 'extensieve bouwplan' uit 2018 op zand achteraf nauwelijks onderscheidend van het intensieve bouwplan en metingen zijn om die reden buiten beschouwing gelaten. In Tabel 3 staan het aantal praktijkpercelen die zijn bemonsterd in 2019 en 2021.

Tabel 3. Locatie en jaar van bemonsterde percelen

Grond-soort	2019	2021
Centrale klei	9	20
Zuidelijke klei	6	0
Zuidelijk zand	7	15

De percelen die in 2021 zijn geselecteerd zijn toegevoegd aan de percelen die reeds in 2019 zijn bemonsterd. Bij de analyse voor dit jaar is de vergelijking tussen veel en weinig graan zo zuiver mogelijk gemaakt door twee uiterste categorieën te maken, een categorie met zoveel mogelijk graan en een met zo min mogelijk graan. Na een nauwkeurige analyse van de percelen zijn er meerdere percelen afgevalen doordat er toch grasland of graan in het bouwplan bleek te zitten terwijl de percelen waren geselecteerd voor de groep met weinig graan. In Tabel 4 staat het uiteindelijke aantal geselecteerde percelen per categorie.

Tabel 4. Behandelingen "Aanpassen gewasrotatie"

Grond-soort	Behandeling	Aantal herhalingen	Beschrijving
Centrale klei	Weinig graan	5	Aandeel graan in de rotatie van de afgelopen 13 jaar was gemiddeld 10% en maximaal 2 jaar graan
	Veel graan	12	Aandeel graan in de rotatie van de afgelopen 13 jaar was gemiddeld 40%, en minimaal 5 jaar graan
Zuidelijke klei	Weinig graan	2	Aandeel graan in de rotatie van de afgelopen 13 jaar was gemiddeld 10%, en maximaal 3 jaar
	Veel graan	3	Aandeel graan in de rotatie van de afgelopen 13 jaar was gemiddeld 46%, en minimaal 5 jaar
Zuidelijk zand	Weinig graan	15	Aandeel graan in de rotatie van de afgelopen 13 jaar was gemiddeld 0%, en maximaal 1 jaar graan
	Veel graan	5	Aandeel graan in de rotatie van de afgelopen 13 jaar was gemiddeld 30%, en minimaal 3 jaar graan

Op Centrale kleigrond kwamen de percelen met veel graan uit op een gemiddeld aandeel graan van 40% en een minimum van 38%, en weinig graan met een gemiddelde van 10% en een maximum van 15%. Op zuidelijke klei was dit veel graan met een gemiddeld aandeel graan van 46% en een minimum van 40%, en weinig graan met

een gemiddelde van 10% en een maximum van 10%. Op zuidelijke zandgrond was dit veel graan met een gemiddeld aandeel graan van 30% en een minimum van 23%, en weinig graan met een gemiddelde van 0% en een maximum van 0% (zie Tabel 4).

### 3.2.2 Groenbemesters

#### Groenbemesters op Duitse löss (Nedersaksen - Asendorf)

Groenbemesters kunnen bijdragen aan het gehalte bodemkoolstof doordat de groenbemesters na de teelt worden ingewerkt in de bodem. In 2020 zijn er reeds metingen verricht in het *Clever cover cropping* experiment op proefboerderij Nergena in Wageningen. In deze LTE kwam geen effect van groenbemesters naar voren. Mogelijk lag dit aan de grote variatie tussen de herhalingen en de korte looptijd van de proef (5 jaar). Lang lopende groenbemesterproeven zijn moeilijk te vinden. In het najaar van 2021 is de Catchy proef op Duitse leem (Nedersaksen - Asendorf) bemonsterd. Deze proef is in 2016 gestart en was op het tijdstip van bemonsteren dus ook 5 jaar oud. Binnen de proef liggen verschillende groenbemesterbehandelingen: zwarte braak, gele mosterd, een mengsel van vier soorten en een mengsel van 12 soorten groenbemesters. De groenbemesters worden na de wintertarwe ingezaaid (rond half augustus) en overwinteren. De effecten van groenbemesters worden binnen twee verschillende rotaties onderzocht: een rotatie met veldboon (tarwe, *groenbemester*, mais, tarwe, *groenbemester*, veldbonen) en een rotatie met extra mais in plaats van veldbonen (wintertarwe, *groenbemester*, mais, wintertarwe, *groenbemester*, mais). De groenbemesters werden bemest met vloeibare ureum-ammoniumnitraat in een dosis van 47 kg N per hectare. Om rekening te houden met de verschillen in jeugdontwikkeling tussen de soorten en om vergelijkbare bovengrondse biomassa in alle behandelingen te verkrijgen, werden de zaaidichtheden aangepast. De twee rotaties liggen naast elkaar, de rotaties liggen dus niet geward in de proef. Daarnaast zijn de organische stofgehalten in de bodem verschillend voor de twee rotaties. Daardoor moet het effect van groenbemesters per rotatie worden onderzocht. Er wordt geen organische bemesting toegepast en alle behandelingen worden bewerkt middels niet-kerende grondbewerking. De behandelingen die zijn onderzocht zijn weergegeven in Tabel 5. In de 'braak' behandeling werd het onkruid handmatig gewied.

Tabel 5. Behandelingen "Groenbemesters".

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

### 3.2.3 Akkerranden

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

In theorie kunnen meerjarige akkerranden bijdragen aan het vastleggen van koolstof doordat de grasachtige en/of kruidenrijke vegetatie meerdere jaren de kans krijgt om te groeien zonder dat de grond wordt bewerkt. Hierbij is dus het meerjarige aspect van de akkerrand van belang, evenals het aantal jaren waarin de rand ligt. Om de bijdrage van meerjarige akkerranden in kaart te brengen zijn metingen uitgevoerd op praktijkpercelen en de bijbehorende akkerrand op Centrale klei (bedrijven - Flevoland) en noordelijk zand (bedrijven - Drenthe). De bedrijven zijn geselecteerd via de plaatselijke agrarische natuurverenigingen, respectievelijk het Flevolands Agrarisch Collectief (FAC) en de Agrarische Natuurvereniging Drenthe (AND). Bedrijven met relatief lang liggende meerjarige akkerranden zijn geselecteerd. Op Centrale klei zijn er 10 percelen en bijbehorende randen bemonsterd en voor noordelijk zand zijn er acht percelen en bijbehorende randen bemonsterd. Hierbij dient het perceel als referentie voor de bijbehorende rand.

Tijdens een nauwkeurige controle van de percelen bleek dat er vijf percelen en bijbehorende akkerranden niet geschikt zijn voor analyse voor noordelijk zand (bedrijven - Drenthe). Er vielen drie akkerranden af aangezien het geen meerjarige randen bleken te zijn doordat de rand tussentijds bouwland is geweest, en het er dus niet drie jaar aansluitend een akkerand heeft gelegen. Er vielen ook twee akkerrand-perceel paren af doordat er grasland op het referentieperceel stond, waardoor de vergelijking tussen meerjarige akkerrand en bouwlandperceel niet mogelijk was. Op Centrale klei (bedrijven - Flevoland) vielen drie percelen af. Eén perceel doordat op de akkerrand tussentijds bouwland is geweest. De andere twee doordat het referentieperceel ofwel grasland was of een geschiedenis had met grasland in de rotatie. Het aantal herhalingen dat uiteindelijk is meegenomen in de data-analyse is weergegeven in Tabel 6.

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

Tabel 6. Behandelingen "Akkerranden"

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

### 3.2.4 Leeftijd grasland verhogen en wisselteelt mais-grasklaver

#### Leeftijd grasland verhogen en wisselteelt mais-grasklaver op Zuidoostelijk zand (bedrijven - Brabant) en centraal zand (bedrijven - Overijssel)

Naast permanent grasland hebben veel melkveebedrijven tijdelijk grasland en maisteelt. Dit kan als een soort permanente teelten, of door deze in verschillende frequentie af te wisselen. In 2021 is op zand geen positief effect op koolstofvastlegging gevonden van het verhogen van de leeftijd van grasland. 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.

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 2021 extra percelen geselecteerd uit het veehouderijnetwerk Duinboeren. De percelen zijn geselecteerd in vier categorieën: mais na gras, permanent grasland, gras na mais en continu 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. Voor de analyse in deze notitie zijn deze nieuw bemonsterde percelen toegevoegd aan de percelen die in eerdere jaren zijn bemeten. Hierdoor krijgen we een beter beeld van de effecten van leeftijd grasland verhogen en wisselteelt mais-gras op zuidelijk zand. Voor de analyse van de gegevens voor de maatregelen leeftijd grasland is er net als voor de meerjarige analyse (Schepens et al., 2022a) als criterium gesteld dat de percelen een lange geschiedenis van mais hebben. Waar dit niet het geval was zijn deze percelen niet meegenomen in de analyse.

Dit jaar zijn voor het eerst ook percelen bemeten in een andere zandregio, namelijk centraal zand in Overijssel. Hierbij is een eenzelfde aanpak gebruikt als op zuidelijk zand; er zijn percelen bemonsterd met continu bouwland, jong grasland, jong bouwland en oud grasland. Er zijn hier dit jaar meer percelen bemonsterd omdat dit de eerste keer was dat er centraal zand is meegenomen. Zie voor een overzicht van alle behandelingen Tabel 7.

Tabel 7. Behandelingen "Leeftijd grasland verhogen en mais-gras wisselteelt"

Grondsoort	Behandeling	Aantal percelen bemonsterd in 2021	Aantal percelen voor analyse
Centraal zand	Permanent bouwland	8	8
	1 jaar gras na mais	8	8
	1-2 jaar mais na gras	5	5
	Oud grasland (>12 jr)	7	6 (één minder i.v.m. uitschieter)
Zuidoostelijk zand	Permanent bouwland	3	9
	1-3 jaar mais na gras	3	nvt
	2-3 jaar gras na mais	3	9
	Oud grasland (>12 jr)	3	9

Het wisselsysteem gaat uit van een verdeling van 60% permanent grasland, 20% tijdelijk grasland en 20% tijdelijk bouwland. Enkel op 40% van de grond wordt dus gewisseld tussen gras en mais, met een interval van drie jaar. Dit systeem is vergeleken met de huidige praktijk. Bedrijven waar op dat moment al meer dan 60% in gebruik is voor permanent grasland komen niet in aanmerking voor een wisselteelt systeem. Op basis van cijfers van RVO bleek bij de overige bedrijven het grondgebruik als volgt verdeeld: in Noord-Brabant was 25% in gebruik als permanent grasland, 43% als tijdelijk grasland, 18% als tijdelijk bouwland en 13% als permanent bouwland. In Overijssel was 46% in gebruik als permanent grasland, 34% als tijdelijk grasland, 13% als tijdelijk bouwland en 7% als permanent bouwland.

### 3.2.5 Kruidenrijk grasland

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

In voorgaande jaren zijn bemonsteringen verricht in praktijkproeven met kruidenrijk grasland. Dit jaar is er een groot aantal praktijkpercelen bemonsterd verspreid over Gelderland van agrariërs die bezig zijn met productief kruidenrijk grasland. Deze percelen zijn vergeleken met percelen met nabijgelegen percelen met Engels raaigras en extensief kruidenrijk grasland.

De controle bestond uit percelen blijvend grasland met voornamelijk Engels raaigras. De percelen worden gekenmerkt door intensief gebruik met beweiding en/of maaien en bemesten met drijfmest en kunstmest. Daarnaast zijn er productief kruidenrijke graslanden bemonsterd. Deze zijn in 2018, 2019 of 2020 ingezaaid en hadden zowel een verleden van maisland en van grasland. Het beheer is vergelijkbaar met Engels Raaigras (controle) maar er is geen kunstmest toegepast. De derde categorie zijn semi-natuurlijke percelen met een geschiedenis van kruidenrijk grasland en vallen onder ANLb pakketten. Deze extensieve kruidenrijke graslanden kennen een extensief beheer met een uitgestelde maaidatum van 1 of 15 juni. De eerste snede is gemaaid waarna er daarna beperkt is beweide of gemaaid. Zie Tabel 8 voor een overzicht van de behandelingen.

Tabel 8. Behandelingen "kruidenrijk grasland"

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

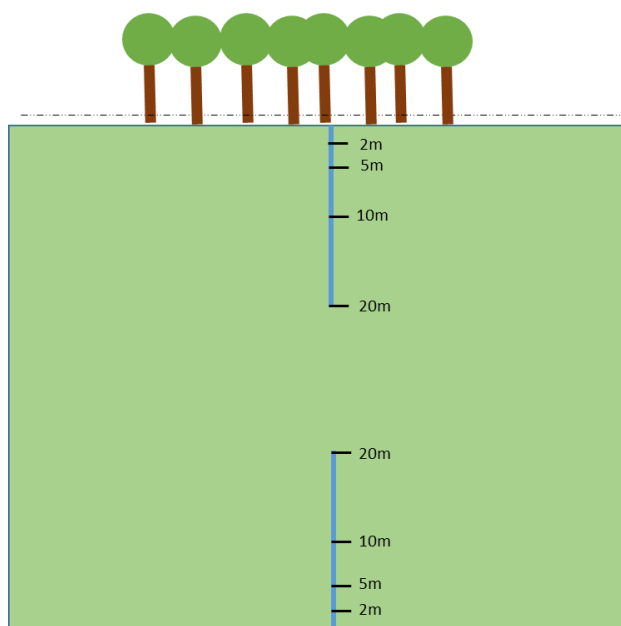
### 3.2.6 Agroforestry (veehouderij)

#### Agroforestry op zuidoostelijk zand (bedrijven – Brabant)

Aanplant van bomen op grasland wordt de laatste jaren steeds vaker toegepast. Echter waren er nog geen percelen beschikbaar waar al wat oudere bodem stonden en waar dus wat effecten te verwachten waren. De metingen hebben daarom plaatsgevonden in graslandpercelen die aan één zijde werd begrenst door een volwassen houtwal. Een volwassen houtwal heeft de opgaande structuur van lijnvormige beplantingen zoals die nu worden geplant onder de noemer agroforestry. Door langs de bestaande houtwal te meten hebben we een indicatie van wat de jonge agroforestrysystemen op grasland in de toekomst op kunnen leveren op het gebied van ondergrondse koolstofvastlegging. Op elk perceel is in twee transecten bemonsterd van de rand van het perceel richting het midden van het perceel, telkens gemeten van een rand met bomen en een rand zonder bomen (zie Figuur 2). Deze methode is afgeleid van de studie naar agroforestry in de akkerbouw van Pardon et al. (2017) in België. Een graslandperceel zonder bomenrij is vergeleken met een strook langs een bomenrij aan de rand van een graslandperceel. Er is, naast de metingen in de rij, op 5m en 10m van de bomenrij zoals bij de agroforestry maatregel in de akkerbouw, ook gemeten op 2m en 20m van de bomenrij om een breder beeld te krijgen van de reikwijdte van het effect van de boomstrook (zie Figuur 2). Voor een overzicht van de behandelingen zie Tabel 9.

Tabel 9. Behandelingen "Agroforestry"

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



Figuur 2. schematische weergave van positie van behandelingen

### 3.3 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 10 geeft een overzicht van de gemeten (BLN1.0) indicatoren, de desbetreffende analysemethode en afkortingen zoals gebruikt in de figuren in dit rapport. De analyses zijn uitgevoerd bij laboratoria van Eurofins Agro, Louis Bolk Instituut, Wageningen Environmental Research en de bodemkundige dienst van België (BDB). Voor de analyse van de meeste indicatoren is de traditionele chemische methode gebruikt. Vanuit kosten optiek is in sommige gevallen is een wat nieuwere methode gebruikt, namelijk NIRS. Een toelichting op de NIRS-methode en de gemeten indicatoren is opgenomen

in de bijlagen (7.1). Voor de microbiële biomassa is deze methode niet geaccrediteerd, maar de PLFA-analyse wordt wel als referentiemethode gebruikt. Op enkele punten is afgeweken van de BLN1.0 om kosten te beperken. Er is daarom gekozen om de aggregaatstabiliteit, (plantparasitaire) aaltjes en regenwormen niet te meten.

Tabel 10. Koolstof en BLN-indicatormetingen verricht binnen de studie welke aansluiten bij de metingen en protocollen van Koopmans et al. (2019) en Hanegraaf et al. (2019).

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

### 3.4 Statistiek

De statistiek in dit onderzoek is uitgevoerd met behulp van het programma Rstudio. Daarbij is gebruik gemaakt van een ANOVA, waarbij herhalingen zijn toegevoegd in de statistische test als block bij veldproeven. Een sterretje (\*) betekent een trend met  $P < 0,10$  en twee sterretjes (\*\*) is een significant verschil met  $P < 0,05$ . 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. Indien de data niet normaal verdeeld waren is een log-transformatie uitgevoerd waarna de verdeling in veel gevallen normaal bleek en alsnog een ANOVA-analyse kon worden uitgevoerd. Enkele parameters bleken niet normaal verdeeld. Voor deze variabelen is in plaats van ANOVA-analyse een Kruskal-Wallis-test uitgevoerd.

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

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

Bij de evaluatie van de maatregel leeftijd grasland verhogen en wisselteelt mais-gras(klaver) op Centraal Zand (Overijssel) zijn percelen bemonsterd op zowel podzolgronden als enkeerdgronden. Het grondsoorttype is bij deze statistische analyse daarom als factor meegenomen. Eén perceel met een percentage organische stof van 14% is uit de analyse gelaten in verband met organische resten in het bodemprofiel die zijn opgevallen tijdens de bodemprofielbeoordeling.



Bij de evaluatie van de maatregel 'Agroforestry' in de veehouderij op zuidelijk zand is een lineaire regressie gebruikt. Voor de evaluatie van deze maatregel is op verschillende afstanden tot een bomenrij en een controle-rij gemeten in een transect. Deze methode is afgeleid van de studie van Pardon et al. (2017) naar agroforestry in de akkerbouw in België. In de lineaire regressie is de behandeling meegenomen (transect met of zonder bomenrij) met als covariabele de afstand tot de bomenrij of de controlestrook. Deze analysemethode is ook afgeleid van de studie van Pardon et al. (2017). Er was één uitschieterende meting van N-totaal (klassiek) van 11,74 g N/kg op 20m van de bomenrij; deze is uit de analyse gelaten.

Om de maatregel aanpassen gewasrotatie middels het verhogen van het aandeel graan te evalueren zijn praktijkpercelen in verschillende regio's vergeleken. Voor de kleigronden is gekeken naar praktijkpercelen met veel en weinig graan op Zuidelijke klei (Zeeland) en Centrale klei (Flevoland) (zie paragraaf 7.2). Bij de statistische analyse voor kleigronden is daarbij de regio als factor opgenomen.

## 4 Resultaten en discussie per maatregel

Dit hoofdstuk biedt een gedetailleerde bespreking van de resultaten die zijn verkregen voor elke afzonderlijke onderzochte maatregel.

### 4.1. Aanpassen gewasrotatie (aandeel graan)

Deze maatregel bestaat uit het verhogen van het aandeel van rustgewassen (in de vorm van graangewassen) in de rotatie.

#### Resultaten

Voor deze maatregel is gewerkt met data van bedrijven op zuidelijke zand, en zuidelijk en centrale klei. De resultaten worden weergegeven in Tabel 11. De volgende resultaten zijn gevonden:

- Op zuidelijk zand zijn voor geen van de indicatoren significante verschillen gevonden tussen weinig en veel graan in de vruchtwisseling.
- Op klei is een significant hogere hoeveelheid hot water carbon (HWC) gevonden bij veel graan vergeleken met weinig graan in de vruchtwisseling.
- Op klei is er een trend gevonden voor een hoger gehalte koolstof (C-ele) en hoger gehalte organische stof gemeten via de NIRS methode (OS-N).
- Op klei is er een significant lagere gemiddelde indringingsweerstand (indr. gem.) bij veel graan in de vruchtwisseling, en een trend voor lagere bulk dichtheid bij veel graan vergeleken met weinig graan in de vruchtwisseling.
- Op klei is een significant hogere hoeveelheid totale stikstof gevonden bij veel graan vergeleken met weinig graan. Dit geldt voor zowel de meting via de NIRS als de klassieke methode (N-tot N en N-tot K).
- Op klei zijn alle biologische indicatoren (PMN, totale microbiële biomassa, bacteriële en schimmel biomassa) significant hoger bij veel graan vergeleken met weinig graan in de vruchtwisseling.

#### Discussie

Op zuidelijk zand is voor geen enkele indicator een significant verschil gevonden. Het is bekend dat de kleiconcentratie in de bodem een goede indicator is voor organische stof opslag en de totale hoeveelheid die stabiel in de bodem kan worden vastgehouden (Wiesmeier et al., 2019). Mogelijk is dat, in combinatie met veel variatie tussen de percelen, een reden waarom er geen effecten zijn gevonden in zandgrond. Op kleigrond waren daarentegen wel een aantal significante verschillen en trends gevonden. De (trend voor) hogere organische stof indicatoren op de 'veel graan' percelen is in overeenstemming met de verwachtingen. Graangewassen laten ten opzichte van de meeste akkerbouwmatige gewassen veel moeilijk afbreekbare gewasresten achter (bovengronds) en hebben een intensieve beworteling waardoor ook ondergronds relatief veel gewasresten achterblijven die de organische stofgehalten kunnen verhogen. De significant lagere indringingsweerstand en de trend voor een lagere bulkdichtheid zijn mogelijk deels hierdoor te verklaren. Maar, de lagere indringingsweerstand en bulkdichtheid zijn ook te verklaren door ander teelt-gerelateerd management wat verandert wanneer de gewasrotatie wordt aangepast. Bijvoorbeeld, bij meer graan in het bouwplan worden minder vaak bieten of aardappelen geteeld. In deze teelten wordt met zware rooimachines gewerkt en vaak –al dan niet noodgedwongen- geoogst onder niet ideale (bijvoorbeeld te natte) omstandigheden die de bodem kunnen verdichten.

Daarnaast waren ook de bodemleven-indicatoren (microbiële biomassa en PMN-N) significant hoger op de 'veel graan' percelen. Dit is ook in overeenstemming met de significant hogere concentratie van HWC, wat bestaat uit makkelijk afbreekbare koolstof wat als voeding dient voor het bodemleven, en zelf ook grotendeels afkomstig is van (levende of dode) microbiële biomassa. Het significante verschil in totale stikstof is waarschijnlijk een gevolg van de hogere gehalten organische stof. De organische stof bevat immers ook stikstof.

Het is relevant om variaties in kleigehalte tussen de behandelingen op kleigrond op te merken. De zeven percelen waarop beperkte graanteelt plaatsvond, vertoonden een gemiddeld kleigehalte van 22%, terwijl de vijftien percelen met aanzienlijk meer graanteelt een gemiddeld kleigehalte van 30% lieten zien. Het kan zijn dat telers een geringe voorkeur hebben om graan te telen op percelen met erg hoge kleigehaltes in verband met de bewerkbaarheid van de bodem. Echter was het verschil in klei niet significant.

In de vorige rapportage (Hoogmoed et al., 2021) waren de percelen voor zand en klei gezamenlijk geanalyseerd. Dit jaar is de analyse iets anders uitgevoerd (zie hoofdstuk werkwijze) en zijn de grondtypen apart geanalyseerd. In de vorige rapportage was er een trend voor hogere K bij veel graan, die niet duidelijk te verklaren was. Deze trend is nu niet meer gevonden.

Tabel 11. Effect van aandeel graan op het zuidelijk zand (bedrijven - Brabant) en de twee kleigebieden (bedrijven Zeeland en Flevoland) samen in de 0-30 cm bodemlaag. Op basis van gegevens uit 2019 en 2021. Een asterisk (\*) betekent een trend met  $P < 0,10$ , \*\* is een significant verschil met  $P < 0,05$ . Zie Tabel 10 voor de betekenis van de afkortingen. De kolom Klei (centraal en zuidelijk) geeft een gewogen gemiddelde aan (beide regio's wegen even zwaar).

Categorie	Meting	Eenheid	Zuidelijk zand			Zuidelijke klei		Centrale klei		Klei (Centraal + Zuid)		
			Weinig graan n=15	Veel graan n=5	Effect graan	Weinig graan n=2	Veel graan n=3	Weinig graan n=5	Veel graan n=12	Weinig graan n=7	Veel graan n=15	Effect graan
Organische stof	C-ele	%	1,9	1,8		1,0	1,7	1,7	2,1	1,4	1,9	*
	OS-gloei	%	3,6	3,6		2,1	3,3	3,2	3,8	2,7	3,6	
	OS - N	%	3,4	3,6		2,1	3,1	3,0	3,8	2,6	3,5	*
	HWC	mg kg <sup>-1</sup>	727	634		456	607	516	645	486	626	**
Fysisch	Klei	%	0,7	0,8		20	32	24,2	28,2	22	30,1	
	Indr Max	MPa	2,2	2,1		2,0	1,0	1,3	1,1	2	1,1	
	Indr gem	MPa	1,1	1,1		1,1	0,4	0,8	0,6	1,0	0,5	**
	bd	kg dm <sup>-3</sup>	1,41	1,43		1,47	1,36	1,40	1,31	1,43	1,3	*
	WVV	%	21	28		23	23	20,2	20,4	22	22	
	% Scherpb	%	29,3	23,0		22	33	23,0	17,5	23	25	
	Beworteling	index 0-2	1,0	1,0		1,7	2,0	1,0	1,4	1,4	1,7	
Chemisch	pH-CaCl <sub>2</sub>		5,6	5,3		7,4	7,5	7,4	7,3	7,4	7,4	
	N-tot N	g N kg <sup>-1</sup>	1,05	1,20		1,09	1,65	1,55	1,93	1,32	1,8	**
	N-tot K	g N kg <sup>-1</sup>	1,26	1,21		1,23	1,89	1,61	2,04	1,42	2,0	**
	N-min	kg ha <sup>-1</sup>	9,6	9,7		11,1	13,5	18,4	15,6	14,8	14,6	
	P-PAE	mg P kg <sup>-1</sup>	8,9	16,8		0,9	1,5	0,9	1,1	1	1,3	
	Pw	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup>	113,2	173,4		27,7	37,0	26,6	29,4	27,2	33,2	
	PAL	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100g <sup>-1</sup>	101,5	122,4		47,3	66,3	45,0	51,0	46	58,7	
	K-PAE	mg K kg <sup>-1</sup>	77,9	76,8		81,7	110,3	117,6	149,5	99,7	129,9	
	K-voor N	mmol+ K kg <sup>-1</sup>	1,7	1,7		4,3	7,7	5,5	5,9	4,9	6,8	
Biologisch	PMN N	mg N kg <sup>-1</sup>	19	24		27	41	18	34	23	38	**
	Microb biom	mg C kg <sup>-1</sup>	177	196		222	343	155	266	189	305	**
	Bact Biom	mg C kg <sup>-1</sup>	53	72		88	144	69	122	79	133	**
	Schim biom	mg C kg <sup>-1</sup>	54	64		58	93	46	68	52	81	**

## 4.2. Groenbemesters

Deze maatregel bestaat uit de inzet van groenbemesters na de teelt van het hoofdgewas, welke vervolgens worden ingewerkt in de bodem.

### Resultaten

Zie voor een overzicht van de resultaten Tabel 12 (rotatie met mais) en Tabel 13 (rotatie met veldboon). De volgende significante effecten van de maatregel zijn gevonden:

- In de rotatie met mais waren voor geen enkele indicator significante verschillen gevonden tussen de zwarte braak en de groenbemesters.
- In de rotatie met veldboon was het watervasthoudend vermogen (WVV) van de bodem significant hoger met groenbemesters dan zonder groenbemesters (zwarte braak). De groenbemestermengsels leidden tot een hoger WVV dan de enkelvoudige groenbemester (gele mosterd).
- In de rotatie met veldboon was de beschikbare kalium (K-PAE) significant hoger bij de gele mosterd groenbemester vergeleken met de zwarte braak. Onder de groenbemestermengsels was geen verschil gevonden in beschikbare kalium vergeleken met zwarte braak.

### Discussie

In de andere, in 2020 bemonsterde groenbemesterproef (Schepens et al., 2022b), werd een hogere hoeveelheid beschikbare kalium gevonden in de groenbemesterbehandeling dan in de controle (braak). In de huidige proef is ook een significant hoger gehalte beschikbaar kalium gevonden, maar alleen bij de gele mosterd groenbemester in de veldboonrotatie en niet in de groenbemestermengsels, en niet in de maisrotatie. Kalium komt relatief snel vrij uit gewasresten omdat dit niet zozeer in de biomassa zit ingebouwd (wat eerst door het bodemleven verteerd moet worden voordat de nutriënten vrijkomen), maar het zich bevindt in het celvocht in de plant. De veldboonrotatie lag op een stuk perceel waar het organische stofgehalte in de bodem gemiddeld iets hoger lag dan op de grond waar de maisrotatie (3,5% en 2,9% OS respectievelijk). Een hogere organische stofconcentratie kan mogelijk hebben bijgedragen aan een grotere retentie van snel vrijkomende kalium in de bodem, aangezien organische stof in staat is om positief geladen voedingsstoffen, zoals kalium, aan zich te binden. Op de vraag waarom (in de veldboonrotatie) enkel gele mosterd resulteerde in een hogere kaliumbeschikbaarheid maar de groenbemestermengsels niet, is op basis van de uitgevoerde metingen geen uitsluitsel te geven. Een mogelijke verklaring is dat de gele mosterd tijdens teelt een relatief hoog vermogen heeft om kalium op te nemen en op die manier tijdelijk te "bewaren" en weer vrij te geven na incorporatie. Dit is echter niet onderzocht.

Verhoging van het WVV als gevolg van de inzet van groenbemesters, zoals waargenomen in de veldboonrotatie voor alle groenbemesters, is te verwachten. Groenbemesters kunnen door beworteling en toevoer van organische stof bijdragen aan de bodemstructuur en als gevolg daarvan aan het watervasthoudend vermogen. Het feit dat bij een verhoogde diversiteit van groenbemesters (in dit geval 4 of meer gewassen) een beter WVV is geconstateerd dan bij de monocultuur (gele mosterd) ligt eveneens in lijn der verwachtingen, aangezien diversiteit kan leiden tot meer diverse wortelstructuren en daarmee verbeterde bodemstructuurvorming. Echter is in deze LTE niet gekeken naar wortelmorfologie. Er is tevens geen eenduidige verklaring gevonden voor waarom het positieve effect van de groenbemesters op het WVV niet is gevonden in de maisrotatie. Veldboon heeft over het algemeen een grotere wortelbiomassa- en meer wortelvertakkingen dan mais, wat in synergie met de groenbemesters kan hebben bijgedragen aan de verbetering van de bodemstructuur en daarmee het WVV.

Ten slotte moet worden opgemerkt dat er weinig langlopende groenbemesterproeven te vinden zijn. Ook de huidige langlopende veldproef die hier wordt besproken, had op het moment van meten een beperkte looptijd, waardoor de groenbemesterbehandelingen in totaal slechts 3 keer waren ingezaaid, geteeld en ondergewerkt. Dit aantal groenbemesterteelten is te beperkt om, gezien de meetfout, een significant verschil in het bodemkoolstofgehalte aan te tonen. Het effect van het telen van groenbemesters op het bodemorganisch koolstofgehalte wordt verder uitgediept in Schepens et al. (2022a). Mogelijk is de looptijd van de proef te kort om ook op andere bodemindicatoren significante effecten te vinden.

Tabel 12 Effect van groenbemesters op Duitse leem (Nedersaksen - Asendorf) in de 0-30 cm, gemeten in 2021 in een rotatie met mais. Een asterisk (\*) betekent een trend met  $P < 0,10$ , \*\* is een significant verschil met  $P < 0,05$ . Zie Tabel 10 voor de betekenis van de afkortingen.

		Rotatie met mais					
	Meting	Eenheid	Zwarte braak	Gele mosterd	Mix van 4 soorten	Mix van 12 soorten	Effect groenbe- mesters
			n=3	n=3	n=3	n=3	
Organische stof	C-ele	%	1,7	1,8	1,8	1,7	
	OS-gloei	%	3,5	3,5	3,5	3,3	
	OS - N	%	3,3	3,5	3,3	3,1	
	HWC	mg kg <sup>-1</sup>	761	789,1	754,5	724,6	
Fysisch	Klei	%	6,0	5,7	6,3	6,3	
	Indr Max	MPa	2,7	2,4	2,8	2,7	
	Indr gem	MPa	1,0	1,0	1,1	1,1	
	bd	kg m <sup>-3</sup>	1232	1200	1253	1221	
	WV	%	26	26	27	27	
	% Scherpb	%	68	62	60	53	
	Beworteli ng	index 0-2	0,7	0,7	0,3	0,7	
Chemisch	pH-CaCL <sub>2</sub>		5,7	5,7	5,7	6,0	
	N-tot N	g N kg <sup>-1</sup>	1,36	1,45	1,31	1,34	
	N-tot K	g N kg <sup>-1</sup>	1,49	1,57	1,55	1,45	
	N-min	kg ha <sup>-1</sup>	12,0	14,2	13,0	13,3	
	P-PAE	mg P kg <sup>-1</sup>	0,8	1,0	0,9	1,0	
	Pw	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup>	23,3	26,0	25,7	27,7	
	PAL	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100g <sup>-1</sup>	36,7	42,0	42,3	46,0	
	K-PAE	mg K kg <sup>-1</sup>	50,3	55,0	45,7	44,0	
	K-voor N	mmol+ K kg <sup>-1</sup>	2,3	2,6	2,8	2,7	
Biologisch	PMN N	mg N kg <sup>-1</sup>	53	49	55	56	
	Microb biom	mg C kg <sup>-1</sup>	246	246	248	229	
	Bact biom	mg C kg <sup>-1</sup>	85	96	86	78	
	Schim biom	mg C kg <sup>-1</sup>	64	79	61	65	

Tabel 13. Effect van groenbemesters op Duitse leem (Nedersaksen - Asendorf) in de 0-30 cm, gemeten in 2021 in een rotatie met veldboon. Een asterisk (\*) betekent een trend met  $P < 0,10$ , \*\* is een significant verschil met  $P < 0,05$ . Zie Tabel 2 voor de betekenis van afkortingen van kolom "Meting". Verschillende letters geven significante verschillen aan tussen behandelingen.

			Rotatie met veldboon				
Meting	Eenheid					Effect groenbemesters	
		Zwarte braak n=3	Gele mosterd n=3	Mix van 4 soorten n=3	Mix van 12 soorten n=3		
Organische stof	C-ele	%	1,4	1,5	1,4	1,5	
	OS-gloeï	%	3,0	2,9	2,9	2,8	
	OS - N	%	2,9	2,8	2,7	2,7	
	HWC	mg kg <sup>-1</sup>	650	696	639	654	
Fysisch	Klei	%	6,7	6,0	5,7	6,0	
	Indr Max	MPa	3,8	3,3	3,3	3,6	
	Indr gem	MPa	1,5	1,2	1,2	1,3	
	bd	kg m <sup>-3</sup>	1289	1240	1258	1244	
	WVV	%	25 a	26 b	27 c	27 c	**
	% Scherpb	%	62	52	53	52	
	Beworteling	index 0-2	0,7	0,0	0,0	0,7	
Chemisch	pH-CaCl <sub>2</sub>		5,8	5,8	5,8	5,8	
	N-tot N	g N kg <sup>-1</sup>	1,12	1,20	1,08	1,12	
	N-tot K	g N kg <sup>-1</sup>	1,42	1,48	1,35	1,30	
	N-min	kg ha <sup>-1</sup>	20,9	23,8	24,3	23,2	
	P-PAE	mg P kg <sup>-1</sup>	1,1	1,5	1,3	1,3	
	Pw	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup>	25,3	29,0	27,0	27,7	
	PAL	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100g <sup>-1</sup>	38,3	42,3	40,0	41,0	
	K-PAE	mg K kg <sup>-1</sup>	84,0 a	93,0 b	76,0 a	77,7 a	**
K-voor N	mmol+ K kg <sup>-1</sup>	2,4	2,8	2,4	2,6		
Biologisch	PMN N	mg N kg <sup>-1</sup>	41	47	44	54	
	Microb biom	mg C kg <sup>-1</sup>	221	211	201	215	
	Bact biom	mg C kg <sup>-1</sup>	79	79	72	68	
	Schim biom	mg C kg <sup>-1</sup>	62	68	67	61	

### 4.3. Akkerranden

Deze maatregel bestaat uit het inzetten van meerjarige onbemeste akkerranden in de vorm van kruid- en grasachtigen langs sloten en/of wegen.

#### Resultaten

De resultaten worden weergegeven in Tabel 14. De volgende resultaten zijn gevonden:

- Op noordoostelijk zand is een trend gevonden van een hogere maximale indringingsweerstand (Indr. max.) in de akkerranden, vergeleken met het aangrenzende perceel.
- Op noordoostelijk zand is er een significant hogere kalium voorraad (K-voor N) onder de akkerranden vergeleken met het aangrenzende perceel.
- Op centrale klei zijn alle organische stof indicatoren (C-ele, OS-gloei, OS-N, en HWC) significant hoger in de akkerranden, vergeleken met het aangrenzende perceel.
- Op centrale klei zijn de maximale en gemiddelde indringingsweerstand significant hoger in de akkerranden vergeleken met het aangrenzende perceel.
- Op centrale klei is de bewortelingsindex significant hoger in de akkerranden vergeleken met het aangrenzende perceel.
- Op centrale klei is de pH significant lager in de akkerranden.
- Op centrale klei is er in de akkerranden een significant hogere voorraad stikstof (N-tot-N) en kalium (K-voor N) gevonden, maar een lagere beschikbaarheid van stikstof (N-min,  $p < 0,1$ ), kalium (K-PAE,  $p < 0,05$ ) en fosfaat (P-PAE,  $p < 0,1$ ).
- Op centrale klei is een significant hogere hoeveelheid microbiële biomassa (microb. biom.) en schimmel biomassa (schim. Biom.) gevonden in de akkerranden, vergeleken met het aangrenzende perceel.

#### Discussie

Op de Noordoostelijke zandgrond waren weinig (significante) verschillen gevonden. Uiteindelijk bleken maar 3 percelen met meerjarige akkerranden in zandgrond geschikt voor de statistische analyse (zie sectie 3.2.3.). Dit zijn weinig meetlocaties om statistische test op te kunnen doen. Dit kan mogelijk verklaren waarom er op de Noordoostelijk zandgrond weinig verschillen zijn gevonden, terwijl op de centrale klei met 7 percelen juist veel van de indicatoren significant verschillen tussen de meerjarige akkerrand en het aangrenzende perceel.

Op kleigrond werden onder meerjarige akkerranden significant hogere waarden gevonden voor alle indicatoren van organische stof. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de verhoogde organische stof input in de vorm van plantenresten en wortelafscheiding. Ook werd in de meerjarige akkerranden op kleigrond een hogere maximale en gemiddelde indringingsweerstand waargenomen in vergelijking met het aangrenzende perceel. Ook op zandgrond was er een trend van een hogere maximale indringingsweerstand ( $p < 0,1$ ). Dit kan worden toegeschreven aan verschillende factoren, waaronder het feit dat er geen ploegwerkzaamheden werden uitgevoerd op de akkerrand. Bovendien zijn de randen van percelen vaak meer verdicht, omdat dit de plek is waar de tractor draait om een nieuwe werkgang over het perceel te maken (dit wordt de 'kopakker' genoemd). Het verschil in bewortelingsindex is in dit geval een minder relevante/betrouwbare indicator omdat in de meerjarige akkerrand (van kruidenrijk gras) en het perceel verschillende gewassen stonden, met hun eigen bewortelingspatroon en intensiteit.

Wat betreft bodemnutriënten werd in de akkerranden op kleigrond een verhoging waargenomen van het totale stikstofgehalte (maar alleen wanneer gemeten met de NIRS-methode) en de totale kaliumvoorraad ten opzichte van het aangrenzende perceel. Dit is opvallend, gezien het ontbreken van bemesting en het algemene patroon van maaiselverwijdering, dat doorgaans tot verarming leidt. De oorzaak hiervan blijft onduidelijk. Er zou uitspoeling van nutriënten vanuit de akker naar de akkerrand hebben kunnen plaatsvinden, waarbij deze nutriënten beter werden vastgehouden. Een andere verklaring kan liggen in de mogelijkheid dat de nutriëntbalans in het referentieperceel negatiever was dan in de akkerranden, wat betekent dat er in verhouding meer nutriënten in de akkerranden achterbleven. In de zandgrond werd alleen een significant hogere kaliumvoorraad gevonden in de akkerranden, terwijl er geen significante verschillen waren voor andere nutriënten.

Interessant is dat ondanks de grotere voorraad stikstof en kalium in de akkerranden van de kleigrond, er een lagere beschikbaarheid van deze elementen werd gemeten, waarbij het verschil significant was voor kalium ( $p < 0,05$ ) en een trend werd waargenomen voor stikstof (N-min,  $p < 0,1$ ). Een mogelijke verklaring hiervoor is dat



de extra stikstof voornamelijk organische stof was, en het aanwezige kalium sterk gebonden was aan organische stof. Voor fosfaat werd er, ondanks geen significant verschil in voorraad, een trend waargenomen van lagere beschikbaarheid in de akkerranden op kleigrond. Dit kan mogelijk komen door bemesting van relatief beschikbare fosfaat op het bouwland, welke niet plaats heeft gevonden op de akkerranden. Een van de functies van akkerranden is om uitspoeling vanuit de percelen naar de aangelegde slootjes te voorkomen. In die zin is het dus een gunstige waarneming dat er hier minder beschikbare, wateroplosbare nutriënten zijn gevonden.

Ten slotte werd in de kleigrond een verhogend effect van akkerranden waargenomen op zowel de totale microbiële biomassa als de schimmelbiomassa. Dit kan worden verklaard door de verminderde bodembewerking en de toename van organische stof, wat een voedingsbron is voor micro-organismen. Een toename van de verhouding tussen schimmel- en bacteriebiomassa, zoals hier, is vaak waargenomen bij natuurlijke successie van oude landbouwgrond of na een vermindering van de landbouwintensiteit.

Tabel 14. Effect van méérjarige akkerranden op het noordoostelijk zand (bedrijven - Drenthe) en Centrale klei (bedrijven - Flevoland) in de 0-30 cm, gemeten in 2021. 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 10 voor de betekenis van de afkortingen.

Meting	Eenheid	Noordoostelijk zand			Centrale klei			
		Aangrenzend perceel	Meerjarige akker-rand	Effect akker-rand	Aangrenzend perceel	Meerjarige akker-rand	Effect akker-rand	
		n=3	n=3		n=7	n=7		
Organische	C-ele	%	2,6	2,6		1,5	1,8	**
	OS-gloei	%	5,3	4,9		2,6	3,1	**
	OS - N	%	4,9	5,0		2,7	3,6	**
	HWC	mg kg <sup>-1</sup>	1149	1303		469	609	**
Fysisch	Klei	%	3,3	3,0		22	23	
	Indr Max	MPa	2,5	3,7	*	1,3	2,4	**
	Indr gem	MPa	1,2	1,7		0,8	1,6	**
	bd	kg m <sup>-3</sup>	1294	1290		1435	1458	
	WVV	%	25	28		16	20	
	% Scherpb	%	12	25		54	55	
	Beworteling	index 0-2	1,0	1,7		0,9	2,0	**
Chemisch	pH-CaCl <sub>2</sub>		4,5	4,5		7,5	7,4	**
	N-tot N	g N kg <sup>-1</sup>	1,83	1,83		1,27	1,71	**
	N-tot K	g N kg <sup>-1</sup>	1,95	1,90		1,72	1,93	
	N-min	kg ha <sup>-1</sup>	9,8	7,6		15,5	8,7	*
	P-PAE	mg P kg <sup>-1</sup>	1,2	0,8		1,2	0,7	*
	Pw	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup>	23,3	22,3		33,1	33,4	
	PAL	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100g <sup>-1</sup>	27,3	28,7		60,3	69,1	
	K-PAE	mg K kg <sup>-1</sup>	33,7	41,0		138,7	116,6	**
K-voor N	mmol+ K kg <sup>-1</sup>	1,3	2,9	**	4,9	6,1	**	
Biologisch	PMN N	mg N kg <sup>-1</sup>	62	56		37	39	
	Microb biom	mg C kg <sup>-1</sup>	441	302		215	290	**
	Bact Biom	mg C kg <sup>-1</sup>	146	150		89	98	
	Schim biom	mg C kg <sup>-1</sup>	91	22		44	73	**

#### 4.4. Wisselteelt mais-grasklaver

Bij deze maatregel wordt het bedrijf ingedeeld met 60% permanent grasland en 20% grasklaver in een driejarige rotatie met 20% mais. Ten opzichte van de huidige gangbare bedrijfsvoering (in Overijssel en Noord-Brabant) betekent dit globaal een stijging van het aandeel permanent grasland ten koste van continu bouwland en tijdelijk grasland.

##### Resultaten

De volgende resultaten van centraal zand worden weergegeven in Tabel 15 en van het Zuidelijk zand in Tabel 16.

##### Centraal zand

- De gemiddelde indringingsweerstand was het hoogst in *permanent grasland* en daarna in *tijdelijk grasland*. Er was geen significant verschil in indringingsweerstand tussen *continue bouwland* en *tijdelijk bouwland*.
- De bulkdichtheid was significant lager in *tijdelijk bouwland* dan in de overige behandelingen.
- De wortelingsintensiteit was significant hoger in *tijdelijk grasland* en *permanent grasland* dan in *tijdelijk bouwland* en *continue bouwland*. Het is echter belangrijk op te merken dat deze vergelijking tussen verschillende gewassen niet veel zegt.
- Scherpblokkige structuurdelen waren significant hoger in *tijdelijk grasland* en *permanent grasland* dan in *tijdelijk bouwland*.
- N-min was significant hoger in *tijdelijk bouwland* dan in de overige behandelingen.
- De P-beschikbaarheid en K beschikbaarheid was significant hoger in *continue bouwland* dan in de overige behandelingen.
- De P-voorraad was significant lager in *tijdelijk bouwland* en *permanent grasland* dan in de overige behandelingen.
- Het potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) was significant lager in *continue bouwland* dan in overige behandelingen.
- Bacteriële- en schimmelbiomassa waren beiden significant lager in *continue bouwland* dan in *tijdelijk grasland*, en voor de bacteriële biomassa geldt tevens dat deze in *tijdelijk bouwland* significant hoger was dan in *continue bouwland*.

##### Zuidelijk zand

- In zuidelijk zand waren alle organische stof indicatoren (gehalte totale koolstof, gehalte organische stof en HWC) significant lager in *continue bouwland* en *tijdelijk grasland* dan in *tijdelijk bouwland* en *permanent grasland*.
- Zowel de gemiddelde indringingsweerstand als de bulk dichtheid waren significant hoger in *tijdelijk grasland* en *permanent grasland* dan in *continue bouwland* en *tijdelijk bouwland*.
- De N-totaal en het potentieel mineraliseerbare-N was significant hoger in *tijdelijk bouwland* en *permanent grasland* dan in *continue bouwland* en *tijdelijk grasland*.
- *Permanent grasland* had de hoogste totale microbiële en bacteriële biomassa ten opzichte van de andere behandelingen (significant) en een hogere schimmelbiomassa dan *continue bouwland* en dan *tijdelijk grasland* (significant). De *tijdelijk grasland* behandeling had een grotere totale microbiële biomassa dan *continue bouwland*.
- Er is een trend ( $p < 0,1$ ) voor de P-beschikbaarheid, waarin *continue bouwland* het hoogste gehalte laat zien, gevolgd door *tijdelijk grasland*. Tussen *tijdelijk bouwland* en *permanent grasland* zat weinig verschil.

##### Discussie

Op zuidelijk zand was er een hogere concentratie organische stof, koolstof en HWC in permanent grasland en tijdelijk bouwland, vergeleken met continu bouwland en tijdelijk grasland. Op centraal zand zijn geen verschillen in organische stof indicatoren gevonden bij de verschillende behandelingen. Van grasland is

bekend dat het veel organische stof in de bodem kan opslaan, door de continue, jaarronde aanvoer van organisch materiaal gewasresten uit wortels en bovengrondse biomassa. De resultaten op zuidelijk zand zijn dan ook zoals verwacht. In de tijdelijk grasland behandeling stond pas 2 a 3 jaar gras, nadat het permanent bouwland was geweest. Dit is blijkbaar nog niet lang genoeg de tijd om significant verschil in organische stof te vinden. Op basis van de resultaten is bij een overstap op een wisselsysteem de verwachting dat er naar verloop van tijd een toename ontstaat in de organische stof indicatoren. Dit omdat de landsgebruikstypen met hogere waarden (permanent grasland en tijdelijk bouwland) in aandeel zullen toenemen, en de landsgebruikstypen met lagere waarden (continu bouwland en tijdelijk grasland) in aandeel zullen afnemen.

Met betrekking tot de fysische indicatoren zien we in beiden zandgrond regio's dat *permanent grasland* en *tijdelijk grasland* een hogere gemiddelde indringingsweerstand hadden dan *continu bouwland* en *tijdelijk bouwland*, waarbij in de centrale zandgrond nog is gevonden dat de indringingsweerstand hoger was in *permanent grasland* dan in *tijdelijk grasland*. Deze overschrijdt in beiden gevallen de grens van 1,5 MPa die wordt aangehouden voor de belemmering van wortelgroei. In zuidelijke zandgrond zien we voor de bodemdichtheid eenzelfde (relatieve) effect, wat te verwachten is omdat bodemdichtheid verband houdt met de indringingsweerstand van de grond. De waargenomen verschillen in bodemdichtheid en indringingsweerstand worden waarschijnlijk veroorzaakt door het ontbreken van ploegwerkzaamheden tijdens de teelt van gras. Desondanks is het belangrijk op te merken dat de grens van 1,5 MPa een algemene richtlijn is; zolang er geen negatieve impact is op de wortelgroei, hoeft er geen reden tot zorg te zijn. Bij de overstap op een wisselsysteem kan daarom worden verwacht dat de indringingsweerstand en bulkdichtheid van de bodem op bedrijfsniveau wat zal toenemen. Ook zal er in het wisselsysteem relatief meer mais worden geteeld op een meer verdicht 'wisselperceel' ten koste van continu bouwland. Het effect op maisontwikkeling moet dan goed in de gaten gehouden worden.

Met betrekking tot bodemstructuur viel verder op dat de bodem van de centrale zandgronden in de *tijdelijk bouwland* behandeling een lager percentage scherpblokkige structuren hadden dan gevonden werd in de grasteelten. Scherpblokkige structuurdelen zijn scherp of hoekig zijn in plaats van afgerond. Een hoog percentage aan scherpblokkige structuurdelen in de bodem duidt over het algemeen op een lage aggregaatstabiliteit en minder biologisch gevormde (afgeronde/korrelige) structuurdelen. Een hoog percentage aan scherpblokkige structuurdelen kan verschillende oorzaken hebben, zoals verstoringen in de bodem door bijvoorbeeld intensieve landbouwpraktijken, lage organische stofniveaus en erosie. Echter vinden we toch voor grasteelten, met doorgaans minder intensieve landbouwpraktijken, een hoger percentage scherpblokkige structuurdelen (in de top 30cm) dan in het tijdelijk bouwland, hier hebben we geen duidelijke verklaring voor gevonden.

Kijkend naar bodemnutriënten vonden we in centrale zandgronden de hoogste P- en K beschikbaarheid en de hoogste P-voorraad in *continu bouwland*. In de zuidelijke zandgrond zien we een soortgelijke trend ( $p < 0,1$ ) voor P-beschikbaarheid (maar niet voor kaliumbeschikbaarheid en P-voorraad). Dit is mogelijk het effect van een andere bemesting van direct beschikbare fosfor en kalium in *continu bouwland* ten opzichte van grasland. Wat betreft stikstof is in de zuidelijke zandgronden bij zowel de *tijdelijk bouwland* als de *permanent grasland* behandeling een hogere stikstof-voorraad en potentieel mineraliseerbare stikstof gevonden. In de centrale zandgrond werd in de behandeling *tijdelijk bouwland* de hoogste hoeveelheid N-min gevonden en in de *continu bouwland* behandeling de laagste hoeveelheid potentieel mineraliseerbare-N. *Tijdelijk bouwland* resulteerde dus zowel in centrale zandgronden ( $\sim$ N-min) als in zuidelijke zandgronden ( $\sim$ N-voorraad,  $\sim$ PMN) in hogere stikstofconcentraties. Mogelijk is dit een gevolg van (afbrekende) resterende graswortels en snelle mineralisatie na het scheuren van gras. Het feit dat er in de zuidelijke gronden een hogere stikstof-voorraad is gevonden in de permanente graslanden komt waarschijnlijk door het hogere organische stof gehalte dat hier eveneens is aangetoond in combinatie met hogere bemesting. De lagere PMN in continu bouwland (gevonden in centrale gronden) is tevens volgens de verwachting aangezien deze zich bevindt in een fractie organische stof die als eerste mineraliseert en organische stof in continu bouwland niet of nauwelijks wordt aangevuld. De overstap naar een wisselsysteem zal waarschijnlijk resulteren in

lagere concentraties en beschikbaarheid van P en K, maar een hogere N<sub>min</sub> en N totaal voorraad. Hier kan echter rekening mee worden gehouden in de bemesting.

Ook zijn er significante effecten gevonden op de biologische indicatoren. Op centrale zandgronden viel op dat zowel de *tijdelijk grasland* als de *tijdelijk bouwland* een hogere bacteriële biomassa hadden dan *continu bouwland*. *Tijdelijk grasland* resulteerde in een hogere schimmelbiomassa dan *continu bouwland*. De verwachting was dat grasland ten opzichte van bouwland meer microbiële biomassa zou hebben, bijvoorbeeld door minder versterking van de bodem. In die zin is dus te verwachten dat de tijdelijk grasland behandeling resulteert in een hogere microbiële biomassa dan continu bouwland. Dit geldt ook voor tijdelijk bouwland, aangezien hier nog mogelijke resteffecten van de eerdere grasteelt aanwezig zijn. Echter zou je om diezelfde reden bij permanent grasland de hoogste microbiële biomassa verwachten, en dat is hier niet gevonden. Op basis van deze proef is daar geen duidelijke reden voor te vinden. Op het zuidelijke zand voldoen de resultaten meer aan de verwachtingen. Hier heeft *permanent grasland* de grootste bacteriële biomassa en totale microbiële biomassa, en ook een hogere schimmelbiomassa dan *continu bouwland* en *tijdelijk grasland*-teelt. De *tijdelijk bouwland* behandeling had daarnaast een hogere microbiële biomassa dan de continu bouwland, mogelijk weer door resteffecten van voorgaande grasteelt. Aangezien permanent bouwland niet voorkomt in een wisselteeltsysteem, kan er bij de overstap een grotere microbiële biomassa worden verwacht.

Tabel 15. Effect van mais-gras wisselteelt op centraal zand (Bedrijven - Overijssel) met als covariable de specifieke grondsoort (eerdgrond versus podzol) in de 0-30 cm, gemeten in 2021). Een asterisk (\*) betekent een trend met  $P < 0,10$ , \*\* is een significant verschil met  $P < 0,05$ . Zie Tabel 10 voor de betekenis van de afkortingen. Verschillende letters (a, b, c) geven significante verschillen aan tussen de behandelingen.

	Meting	Eenheid	Continu bouwland	1-2 jaar na permanente gras (tijdelijk bouwland)	1 jaar gras na permanente mais (tijdelijk grasland)	Permanente grasland (>12 jaar)	Effect
			n=8	n=5	n=8	n=6	
Organische stof	C-ele	%	2,5	3,2	2,7	2,6	
	OS-gloei	%	5,1	5,7	5,1	4,8	
	OS - N	%	5,3	6,3	5,5	5,2	
	HWC	mg kg <sup>-1</sup>	104 3	1384	1104	1112	
Fysisch	Klei	%	2	1	2	2	
	Indr Max	MPa	2,6	2,2	2,7	2,6	
	Indr gem	MPa	1,2	a 0,9	a 1,6	b 1,8	c **
	bd	kg m <sup>-3</sup>	134 3	b 1199	a 1383	b 1404	b **
	WVV	%	18	21	21	18	
	% Scherpb	%	10	ab 6	a 13	b 15	b **
	Beworteling	index 0-2	1,0	a 1,0	a 1,9	b 2,0	b **
Chemisch	pH-CaCl <sub>2</sub>		4,6	4,6	4,9	5,0	
	N-tot N	g N kg <sup>-1</sup>	1,81	2,30	1,92	1,85	
	N-tot K	g N kg <sup>-1</sup>	1,86	2,42	2,12	1,89	
	N-min	kg ha <sup>-1</sup>	14,2	a 26,8	b 9,2	a 10,6	a **
	P-PAE	mg P kg <sup>-1</sup>	5,8	b 2,7	a 3,0	a 1,6	a **
	Pw	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup>	80,1	b 44,4	a 53,1	a 35,2	a **
	PAL	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100g <sup>-1</sup>	76,9	b 48,0	a 59,3	ab 43,3	a **
	K-PAE	mg K kg <sup>-1</sup>	93,0	b 52,4	a 39,9	a 45,2	a **
	K-voor N	mmol+ K kg <sup>-1</sup>	2,1	2,1	2,0	2,0	
Biologisch	PMN N	mg N kg <sup>-1</sup>	38	a 65	b 45	b 44	b **
	Microb biom	mg C kg <sup>-1</sup>	318	370	370	335	
	Bact biom	mg C kg <sup>-1</sup>	87	a 145	b 134	b 112	ab **
	Schim biom	mg C kg <sup>-1</sup>	87	a 95	ab 148	b 107	ab **

Tabel 16: Effect van leeftijd grasland en mais-gras wisselteelt op zuidelijk zand (Bedrijven - Brabant) in de 0-30 cm, gemeten in 2019-2021. Een asterisk (\*) betekent een trend met  $P < 0,10$ , \*\* is een significant verschil met  $P < 0,05$ . Zie Tabel 10 voor de betekenis van de afkortingen. Verschillende letters (a, b, c) geven significante verschillen aan tussen de behandelingen.

	Meting	Eenheid	Continu bouwland	1-3 jaar mais na permanent gras  (tijdelijk bouwland)	2-3 jaar gras na permanent mais  (tijdelijk grasland)	Permanent grasland	Effect		
			N=9	N=11	N=9	n=11			
Organische stof	C-ele	%	1,5	a 2,1	b	1,5	a 1,9	b	**
	OS-gloei	%	2,8	a 3,9	b	3,0	a 3,6	b	**
	OS - N	%	2,8	a 4,2	b	3,0	a 3,7	b	**
	HWC	mg kg <sup>-1</sup>	638	a 951	b	683	a 954	b	**
Fysisch	Klei	%	2,1	2,3		1,4	2,7		
	Indr Max	MPa	3,3	2,9		3,4	3,9		
	Indr gem	MPa	1,5	a 1,5	a	2,2	b 2,1	b	**
	bd	kg m <sup>-3</sup>	1420	a 1307	a	1454	b 1410	b	**
	WVV	%	21	22		19	22		
	% Scherpb	%	13	13		21	22		
	Beworteling	index 0-2	1,5	1,2		1,9	1,6		
Chemisch	pH-CaCl <sub>2</sub>		5,4	5,2		5,4	5,0		
	N-tot N	g N kg <sup>-1</sup>	1,14	a 1,63	b	1,17	a 1,58	b	**
	N-tot K	g N kg <sup>-1</sup>	1,17	a 1,67	b	1,20	a 1,60	b	**
	N-min	kg ha <sup>-1</sup>	15	18		12	15		
	P-PAE	mg P kg <sup>-1</sup>	6,7	2,1		4,7	3,5		*
	Pw	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup>	91,6	46,8		76,9	52,7		*
	PAL	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100g <sup>-1</sup>	86,4	57,4		81,9	52,9		
	K-PAE	mg K kg <sup>-1</sup>	87,4	59,6		85,7	79,6		
K-voor N	mmol+ K kg <sup>-1</sup>	2,1	2,4		2,1	2,3			
Biologisch	PMN N	mg N kg <sup>-1</sup>	34	a 54	b	35	a 60	b	**
	Microb biom	mg C kg <sup>-1</sup>	213	a 289	b	219	ab 362	c	**
	Bact biom	mg C kg <sup>-1</sup>	86	a 114	a	88	a 147	b	**
	Schim biom	mg C kg <sup>-1</sup>	60	a 85	ab	58	a 110	b	**

## 4.5. Leeftijd grasland verhogen

Deze maatregel bestaat uit het voorkomen dat grasland wordt gescheurd.

### Resultaten

De resultaten zijn weergegeven in Tabel 17. Het volgende is gevonden:

- Oud grasland (>10jr) had volgens alle organische stof indicatoren een hogere organische stof gehalte dan continue bouwland en jong grasland (<5jr).
- De indringingsweerstand (indr. gem.) was hoger in jong en oud grasland dan in continue bouwland.
- N-voorraad (N-tot) is hoger in oud grasland dan in jong grasland en continu bouwland.
- De biologische indicatoren (potentieel mineraliseerbaar stikstof (PMN), totale microbiële biomassa, bacteriële biomassa en schimmelbiomassa) waren hoger in oud grasland dan in jong grasland en continue bouwland.

### Discussie

Zoals verwacht heeft permanent grasland een positief effect op verschillende BLN-indicatoren. De hogere organische stof concentratie in oud grasland ten opzichte van jonger grasland of bouwland kan waarschijnlijk verklaard worden door hogere organische stof aanvoer van gras. Het feit dat een verhoogd bodem organische stof gehalte (nog) niet zijn aangetroffen in jong grasland impliceert dat het lang duurt (>5 jaar) voordat effecten van grasland op organische stof meetbaar zijn. De hogere N-voorraad die is gevonden in de percelen met oud gras is een logisch gevolg van de hogere organische stof concentratie, aangezien een groot deel van de bodemstikstof zich bevindt in organische stof.

De hogere gemiddelde indringingsweerstand in (jong en oud) grasland kan verklaard worden doordat hier niet geploegd wordt. Er zijn echter geen verschillen gevonden in bulkdichtheid. De indringingsweerstand is ook afhankelijk van het vochtgehalte van de bodem (hoe droger de grond, hoe hoger de indringingsweerstand). De hogere microbiële biomassa (bacteriën en schimmels) onder permanent grasland was ook volgens verwachting, aangezien de bodem onder permanent grasland een continue toevoer van organische stof heeft, en minder of geen grondbewerking ondergaat. Onder het jonge grasland waren (nog) geen verschillen gevonden in biologische indicatoren.

Tabel 17. Effect van leeftijd grasland verhogen op Zuidelijk zand (Bedrijven - Brabant) in de 0-30 cm. Op basis van gegevens uit 2019, 2020 en 2021 Een asterisk (\*) betekent een trend met  $P < 0,10$ , \*\* is een significant verschil met  $P < 0,05$ . Zie Tabel 10 voor de betekenis van de afkortingen.

	Meting	Eenheid	Continu bouwland	Jong grasland (1-5jr)	Oud grasland (>10jr)	Effect	leeftijd grasland		
			n=9	n=9	n=9				
Organische stof	C-ele	%	1,5	a	1,5	a	1,9	b	**
	OS-gloei	%	2,8	a	3,0	a	3,7	b	**
	OS - N	%	2,8	a	3,0	a	3,7	b	**
	HWC	mg kg <sup>-1</sup>	638	a	683	a	974	b	**
Fysisch	Klei	%	2,1		1,4		2,7		
	Indr Max	MPa	3,3		3,4		3,8		
	Indr gem	MPa	1,5	a	2,2	b	2,1	b	**
	bd	kg m <sup>-3</sup>	1420		1454		1415		
	WV	%	0,2		0,2		0,2		
	% Scherpb	%	13,1		20,6		23,9		
	Beworteling	index 0-2	1,5		1,9		1,6		
Chemisch	pH-CaCl <sub>2</sub>		5,4		5,4		5,1		
	N-tot N	g N kg <sup>-1</sup>	1,14	a	1,17	a	1,59	b	**
	N-tot K	g N kg <sup>-1</sup>	1,17	a	1,20	a	1,62	b	**
	N-min	kg ha <sup>-1</sup>	14,8		12,0		15,5		
	P-PAE	mg P kg <sup>-1</sup>	6,7		4,7		4,1		
	Pw	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup>	91,6		76,9		58,4		
	PAL	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100g <sup>-1</sup>	86,4		81,9		57,2		
	K-PAE	mg K kg <sup>-1</sup>	87,4		85,7		90,6		
K-voor N	mmol+ K kg <sup>-1</sup>	2,1		2,1		2,5			
Biologisch	PMN N	mg N kg <sup>-1</sup>	34	a	35	a	63	b	**
	Microb biom	mg C kg <sup>-1</sup>	213	a	219	a	383	b	**
	Bact biom	mg C kg <sup>-1</sup>	86	a	88	a	151	b	**
	Schim biom	mg C kg <sup>-1</sup>	60	a	58	a	117	b	**



## 4.6. Kruidenrijk grasland

Deze maatregel bestaat uit het inzetten van graskruidenmengsels in het grasland in plaats van het telen van enkel Engels raaigras.

### Resultaten

De resultaten van de metingen zijn weergegeven in Tabel 18. De resultaten worden hieronder kort toegelicht:

- De hot water extractable carbon (HWC) is significant lager in extensief kruidenrijk grasland, vergeleken met de referentie Engels raaigras. HWC onder productief kruidenrijk grasland verschilde niet van Engels raaigras.
- Er was een trend van een iets lagere bulkdichtheid (bd) onder productief kruidenrijk grasland vergeleken met Engels raaigras.
- De pH was significant lager onder extensief kruidenrijk grasland vergeleken met Engels raaigras.
- Er is een trend voor een lagere minerale stikstof (N-min) onder extensief kruidenrijk grasland.
- De kalium beschikbaarheid was significant lager onder extensief kruidenrijk grasland, vergeleken met Engels raaigras.
- De schimmel biomassa (schim. biom.) was significant hoger onder productief kruidenrijk grasland vergeleken met extensief kruidenrijk grasland. Er zijn geen significante verschillen in schimmelbiomassa tussen Engels raaigras en productief of extensief kruidenrijk grasland.

### Discussie

Voor een aantal BLN indicatoren zijn verschillen gevonden tussen de referentiepercelen met Engels raaigras en de extensief kruidenrijk graslandpercelen. Productief kruidenrijk grasland verschilde niet van de Engels raaigras referentie. De resultaten van deze maatregel moeten voorzichtig geïnterpreteerd worden. Er zat een verschil in de perceelsgeschiedenis van de percelen met productief kruidenrijk grasland. Deze percelen waren relatief jong (tot maximaal 3 jaar eerder ingezaaid), en waren daarvoor in gebruik als maisland of grasland. Deze uitgangssituatie kan een aanzienlijk effect hebben gehad, maar omdat ze gezamenlijk zijn geanalyseerd kunnen effecten ook uitgemiddeld zijn. Wat betreft het extensief kruidenrijk grasland is het aannemelijk dat boeren eerder de minder productieve percelen kiezen voor de teelt van kruidenrijk grasland/extensief landschap dan de meer productieve percelen.

De HWC was significant lager in extensief kruidenrijk grasland. HWC is een indicator voor relatief makkelijk afbreekbare organische stof, en dus makkelijk beschikbaar voedsel voor het bodemleven (microbiële activiteit). Extensief kruidenrijk grasland is minder productief dan 'productief kruidenrijk grasland'. Dit resulteert vaak ook in verminderde input van organische stof (gewasresten) en microbiologische activiteit omdat er minder makkelijk beschikbare voedingsstoffen (stikstof) beschikbaar zijn voor de micro-organismen. Er was echter geen verschil in microbiële biomassa tussen Engels raaigras, productief kruidenrijk grasland en extensief kruidenrijk grasland. Wel was er een significant lagere hoeveelheid schimmelbiomassa in extensief kruidenrijk grasland vergeleken met productief kruidenrijk grasland. Waarom dit het geval is, is op basis van de data en de huidige kennis moeilijk te zeggen.

De significant lagere pH in extensief kruidenrijk grasland komt mogelijk doordat er bij extensief beheer hier minder bekalkt wordt om de pH van de bodem optimaal te houden. Een pH van 4,9 is aan de lage kant. Ook de significant lagere beschikbare kalium is mogelijk een resultaat van minder bemesting.

Tabel 18. Effect van kruidenrijk grasland op centraal zand (Bedrijven - Gelderland) in de 0-30 cm, gemeten in 2021. Een asterisk (\*) betekent een trend met  $P < 0,10$ , \*\* is een significant verschil met  $P < 0,05$ . Zie Tabel 10 voor de betekenis van de afkortingen. Verschillende letters (a, b, c) geven significante verschillen aan tussen de behandelingen.

Meting		Eenheid	Engels raaigras	Productief kruidenrijk grasland	Extensief kruidenrijk grasland	Effect kruidenrijk grasland
			n= 11	n=12	n=12	
Organische stof	C-ele	%	2,2	2,3	2,1	
	OS-gloei	%	4,4	4,6	4,1	
	OS - N	%	4,3	4,3	4,0	
	HWC	mg kg <sup>-1</sup>	1040	b 1112	b 808	a **
Fysisch	Klei	%	2,8	3,1	3,8	
	Indr Max	MPa	2,7	3,0	3,2	
	Indr gem	MPa	1,9	1,9	1,9	
	bd	kg m <sup>-3</sup>	1440	1369	1440	*
	WV	%	21	22	20	
	% Scherpb	%	51	51	53	
	Beworteling	index 0-2	0,8	1,2	1,2	
Chemisch	pH-CaCl <sub>2</sub>		5,4	b 5,3	b 4,9	a **
	N-tot N	g N kg <sup>-1</sup>	1,74	1,77	1,57	
	N-tot K	g N kg <sup>-1</sup>	1,73	1,86	1,57	
	N-min	kg ha <sup>-1</sup>	15,2	15,3	11,7	*
	P-PAE	mg P kg <sup>-1</sup>	1,4	1,4	1,2	
	Pw	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup>	33,8	32,3	30,0	
	PAL	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100g <sup>-1</sup>	42,4	40,2	38,0	
	K-PAE	mg K kg <sup>-1</sup>	51,4	b 55,4	b 26,3	a **
K-voor N	mmol+ K kg <sup>-1</sup>	2,0	2,2	1,8		
Biologisch	PMN N	mg N kg <sup>-1</sup>	41	45	36	
	Microb biom	mg C kg <sup>-1</sup>	354	373	355	
	Bact biom	mg C kg <sup>-1</sup>	152	162	142	
	Schim biom	mg C kg <sup>-1</sup>	98	ab 118	b 79	a **

## 4.7. Agroforestry (Veehouderij)

De maatregel Agroforestry bestaat uit het telen van meerjarige houtige gewassen (vaak bomen) in een weide of als strook tussen akkergewassen.

### De resultaten

De resultaten zijn weergegeven in . De resultaten worden hieronder kort toegelicht:

- Het gehalte organische stof is hoger in het transect vanaf de bomenstrook, vergeleken met het controle transect. Dit verschil is significant wanneer gemeten met de NIRS methode, maar alleen als trend zichtbaar wanneer gemeten met de klassieke methode van gloeiverlies.
- HWC is significant hoger in de bomenstrooktransect vergeleken met het controle transect.
- Het percentage scherpblokkigheid is significant lager in bomenstrooktransect vergeleken met het controle transect.
- Een aantal chemische indicatoren zijn significant hoger in het transect vanaf de bomenstrook, vergeleken met het control transect: minerale stikstof (N-min), beschikbare fosfaat (Pw) en fosfaat voorraad (PAL), en de beschikbare kalium (K-PAE). Voor N totaal gemeten via de NIRS methode, en beschikbare fosfaat gemeten via P-PAE was een trend voor een hoger gehalte in het bomenstrooktransect.

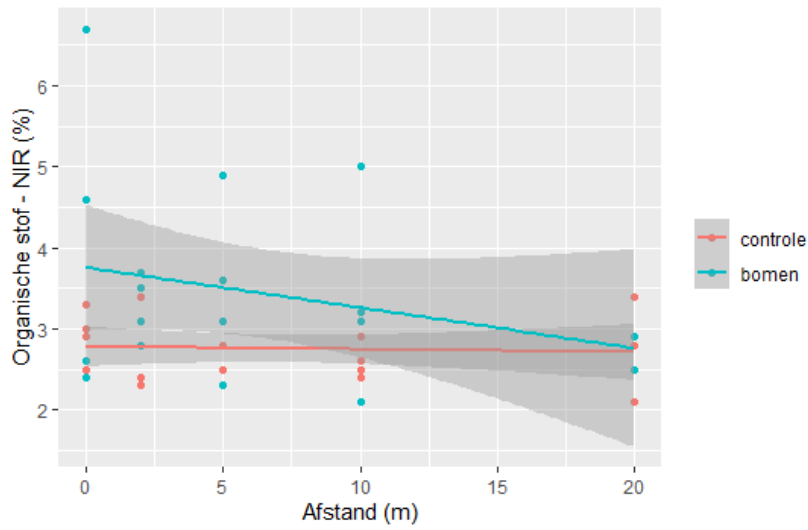
### Discussie

Zoals verwacht was er in de transect vanaf de bomenstrook een hoger gehalte aan organische stof gevonden, vergeleken met de controle transect. Ook het gehalte HWC was hoger. Het is aannemelijk dat dit komt door extra input van organisch materiaal. Enerzijds via afvallend (herfst)blad en takjes, maar het is ook mogelijk dat de koeien gebruik maken van de schaduw die de houtwal biedt, en zich meer aan de rand van het perceel naast de bomen begeven. Hierdoor komt er meer mest op dit deel van het perceel.

Het percentage scherpblokkigheid zegt iets over de biologisch gevormde bodemstructuur. Hoe minder scherpblokkigheid, hoe beter de (biologisch gevormde) bodemstructuur. Biologisch gevormde bodemstructuur zorgt voor meer afgeronde kluitjes en kruimeligheid van de bodem. Het percentage scherpblokkigheid was lager in het transect vanaf de boomstrook. Dit kan (samen met het hogere gehalte HWC) een indicatie zijn voor meer bodembioologische activiteit. Echter is dat niet teruggevonden in de microbiologische indicatoren. Daar zijn geen significante verschillen gevonden tussen de transecten. De hogere gehalten aan (minerale) stikstof, fosfaat en (beschikbare) kalium kunnen aan de ene kant komen door meer mest van koeien die zich meer in de schaduw begeven. Anderzijds kan het ook zijn dat door de schaduw van de bomen er minder grasproductie is, waardoor er ook minder opname van nutriënten door het gewas plaatsvindt.

Tabel 19. Effect van agroforestry op Zuidoostelijk zand (Bedrijven - Brabant) in de 0-30 cm. Gemeten werd in praktijkpercelen in transecten vanaf een bomenrij en in controle-transecten zonder bomenrij. Een asterisk (\*) betekent een trend met  $P < 0,10$ , \*\* is een significant verschil met  $P < 0,05$ . Zie Tabel 10 voor de betekenis van de afkortingen. Voor de statistische analyse zijn alle monsters per behandeling bij elkaar gevoegd. De afstand vanaf de rand van het perceel is als covariable meegenomen in de analyse. Verschillen tussen de afstanden zijn niet verder geanalyseerd.

		Controle transect					Bomentransect					Gemiddeld		Gemiddeld effect agroforestry	
	Meting	Eenheid	0m	2m	5m	10m	20m	0m	2m	5m	10m	20m	Controle	Bomenstrook	
			n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	
Organische stof	C-ele	%	1,5	1,4	1,4	1,3	1,4	2,2	1,6	1,7	1,6	1,6	1,4	1,7	
	OS-gloeï	%	2,8	2,8	2,7	2,6	2,8	4,2	3,3	3,3	3,2	3,1	2,7	3,4	*
	OS - N	%	2,9	2,7	2,7	2,6	2,8	4,1	3,3	3,5	3,4	3,3	2,8	3,5	**
	HWC	mg kg <sup>-1</sup>	756	712	718	733	723	1398	1068	959	878	787	728	1018	**
Fysisch	Klei	%	2,5	2,0	2,3	2,0	2,8	3,5	3,0	2,5	2,0	2,5	2,3	2,7	
	Indr Max	MPa	2,8	3,5	3,6	3,0	3,4	2,4	4,0	3,1	2,9	3,2	3,3	3,1	
	Indr gem	MPa	1,8	1,9	2,3	1,9	1,9	1,1	2,0	1,9	1,9	1,7	2,0	1,7	
	bd	kg m <sup>-3</sup>	1340	1453	1438	1386	1408	1348	1407	1475	1463	1458	1430	1405	
	WVV	%	20	21	20	25	23	23	19	21	21	22	22	21	
	% Scherpb	%	35,0	45,0	67,5	55,0	62,5	15,0	30,0	57,5	28,8	46,3	53,0	35,5	**
	Beworteling	index 0-2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,8	2,0	2,3	2,0	2,0	
Chemisch	pH-CaCl <sub>2</sub>		5,1	5,3	5,3	5,5	5,4	5,2	5,4	5,4	5,2	5,3	5,3	5,3	
	N-tot N	g N kg <sup>-1</sup>	1,25	1,12	1,15	1,13	1,19	1,59	1,38	1,41	1,40	1,41	1,17	1,44	*
	N-tot K	g N kg <sup>-1</sup>	1,30	1,25	1,19	1,16	1,18	1,95	1,61	1,47	1,38	1,26	1,22	1,55	
	N-min	kg ha <sup>-1</sup>	11,6	9,8	11,4	18,1	11,5	25,0	14,3	17,6	12,7	17,1	12,5	17,3	**
	P-PAE	mg P kg <sup>-1</sup>	1,4	1,4	1,5	1,5	1,3	2,7	3,7	3,6	2,1	1,7	1,4	2,7	*
	Pw	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup>	24,8	25,8	25,8	27,0	24,0	26,8	43,8	52,8	39,0	33,5	25,5	39,2	**
	PAL	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100g <sup>-1</sup>	27,3	29,0	28,5	30,5	27,5	17,8	36,8	52,5	44,5	39,8	28,6	38,3	**
	K-PAE	mg K kg <sup>-1</sup>	56,5	31,0	31,5	48,3	38,3	66,8	76,3	86,3	46,0	39,3	41,1	62,9	**
K-voor N	mmol+ K kg <sup>-1</sup>	1,7	1,3	1,6	1,7	2,0	2,0	2,3	1,7	1,5	2,0	1,7	1,9		
Biologisch	PMN N	mg N kg <sup>-1</sup>	35	35	35	34	33	47	38	42	38	40	35	41	
	Microb biom	mg C kg <sup>-1</sup>	222	268	274	271	265	348	329	333	252	295	260	312	
	Bact biom	mg C kg <sup>-1</sup>	103	113	116	115	124	145	129	143	105	107	114	126	
	Schim biom	mg C kg <sup>-1</sup>	58	38	59	62	42	132	87	88	66	60	52	86	



*Figuur 3. Voorbeeldgrafiek van verschillen in organische stof – NIR (%) in het bomenstrooktransect en het controlestrooktransect. De afstand binnen het transect is aangegeven op de x-as. In de grafiek is duidelijk te zien dat er veel variatie is tussen de verschillende metingen.*

## 5 Conclusie

Deze studie maakte gebruik van de BLN-indicatorset (1.0) om variaties in bodemkwaliteit als gevolg van koolstofvastleggingsmaatregelen te analyseren. Het onderzoek omvatte diverse zand- en kleigronden in Nederland, met uiteenlopende behandelingen in zowel akkerbouw als veehouderij (Koopmans et al., 2021). Verschillende lange termijn experimenten met unieke opzetten werden geanalyseerd. Zoals in Deel 1 en 2 van dit project (respectievelijk; Hoogmoed et al., 2021; Schepens et al., 2022), boden de gebruikte indicatoren inzicht in de effecten van maatregelen op bodemkwaliteit in diverse proefopstellingen. Een alomvattende synthese van de resultaten van de vorige twee delen en dit huidige deel wordt momenteel ontwikkeld door Vervuurt et al. (in voorbereiding), wat de reden is dat we hier beknopt blijven en ons beperken tot de resultaten van Deel 3.

In Tabel 20 worden de resultaten samengevat.

- Verscheidene landbouwmaatregelen vertoonden positieve effecten op organische stofindicatoren, waaronder aanpassen gewasrotatie (één indicator), agroforestry (twee indicatoren), en de maatregelen akkerranden, wisselteelt van maïs en grasklaver, en verhoging van de leeftijd van grasland (alle indicatoren). Opmerkelijk is dat extensieve kruidenrijke graslanden gemiddeld lagere HWC vertoonden dan aangrenzende percelen beplant met Engels raagras. Mogelijke verklaringen worden besproken in dit rapport.
- Met uitzondering van agroforestry resulteerde een stijging in organische stofconcentratie consequent in een significante toename van biologische indicatoren: twee indicatoren voor akkerranden, of alle biologische indicatoren voor zowel het aandeel gewasrotatie als het verhogen van de leeftijd van grasland. De toename in organische stofcomponenten lijkt mogelijk gepaard te gaan met een stijging van de microbiële biomassa.
- Duidelijk was dat kleigronden, in vergelijking met zandgronden, vaak sterker reageerden op de onderzochte maatregelen, wat suggereert dat kleigronden wellicht gevoeliger zijn voor dergelijke beleidsmaatregelen.
- Enkele maatregelen resulteerden in een verhoogd indringend vermogen, vermoedelijk door het gebrek aan grondbewerking binnen deze behandelingen. Hoewel een verhoogd indringend vermogen niet per se negatief is, dient dit zorgvuldig gemonitord te worden om eventuele ongewenste effecten tijdig te identificeren.
- Bij de interpretatie van chemische indicatoren is context van groot belang. Bij het implementeren van maatregelen die invloed hebben op chemische indicatoren moet dit worden meegenomen in het bemestingsplan.

Het implementeren van meerjarige akkerranden, het verhogen van de leeftijd van grasland, het implementeren van een wisselteelt maïs-grasklaver en het aanpassen van de gewasrotatie door meer graan toe te voegen aan het bouwplan, tonen in het huidige onderzoek veel potentie om landbouwpraktijken te verbeteren vanwege hun positieve effecten op zowel bodemorganische stof als bodembioologie. Niettemin is het verkrijgen van een vollediger beeld van de effecten van deze en andere maatregelen afhankelijk van de combinatie van de huidige bevindingen (deel 3) met de resultaten uit voorgaande jaren (deel 1 en deel 2). Deze samenvattende informatie zal binnenkort gepresenteerd worden in het rapport van Vervuurt et al. (in voorbereiding).

Tabel 20. Resultatenoverzicht per maatregel. In de tabel worden symbolen gebruikt om effecten aan te duiden: '++' geeft een significant positief effect aan, '+' duidt op een trendmatig positief effect ( $p < 0,10$ ), '--' wijst op een significant negatief effect, en '-' geeft een trendmatig negatief effect aan ( $p < 0,10$ ).

Meting	Eenheid	Aanpassen gewasrotatie		Groenbemesters (op Duitse löss)		Akkerrand		Wisselteelt (maïs-grasklaver)	leeftijd (op grasland (op zand))		Kruidrijk grasland (op zand)		Agroforestry
		Zand	Klei	Rotatie met veldboon	Rotatie met maïs	Zand	Klei		Zand	1-5 jr	>10 jr	Productief	
Organische stof	C-ele	%		+				++	++		++		
	OS-gloei	%						++	++		++		+
	OS - N	%		+				++	++		++		++
	HWC	mg kg <sup>-1</sup>		++				++	++		++	--	++
Fysisch	Klei	%											
	Indr Max	MPa				+	++						
	Indr gem	MPa		--			++	++	++	++			
	bd	kg m <sup>-3</sup>		-				++			-		
	WVV	%			++ *								
	% Scherpb	%											--
	Beworteling	index 0-2						++					
Chemisch	pH-CaCl <sub>2</sub>						--					--	
	N-tot N	g N kg <sup>-1</sup>		++			++	++		++			+
	N-tot K	g N kg <sup>-1</sup>		++				++		++			
	N-min	kg ha <sup>-1</sup>					-						++
	P-PAE	mg P kg <sup>-1</sup>					-						+
	Pw	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> L <sup>-1</sup>											++
	PAL	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100g <sup>-1</sup>											++
	K-PAE	mg K kg <sup>-1</sup>				++ **		--				--	++
K-voor N	mmol+ K kg <sup>-1</sup>					++	++						
Biologisch	PMN N	mg N kg <sup>-1</sup>		++				++		++			
	Microb biom	mg C kg <sup>-1</sup>		++			++	++		++			
	Bact Biom	mg C kg <sup>-1</sup>		++				++		++			
	Schim biom	mg C kg <sup>-1</sup>		++				++		++			

\*(mix > mosterd > braak). \*\* Alleen voor gele mosterd.

## 6 Referenties

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., Cruijisen, 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. Blablabla

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., Cruijisen, J.J.P. Cruijisen, 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.

Pardon, P., Reubens, B., Reheul, D., Mertens, J., De Frenne, P., Coussement, T., ... & Verheyen, K. (2017). Trees increase soil organic carbon and nutrient availability in temperate agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 247, 98-111.

Schepens, J.A.B., Timmermans, B.G.H., Fuchs, L.M., Peters, R., Bloem, J., Heupink, D.T., Wagenaar, J.P., Slier, T. en Koopmans, C.J. (2022a). Meerjarige evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof in minerale gronden: integrale analyse over de jaren 2018-2020. Louis Bolk Instituut, nr. 2022-016 LbP.

Schepens, J.A.B., Timmermans, B.G.H., Herbert, Z.G.J., Hoogmoed, M., Fuchs, L.M., Heupink, D.T., Slier, T., Wagenaar, J.P. en Koopmans, C.J. (2022b). Effecten van koolstofvastleggende maatregelen op de (BLN)-bodemkwaliteit indicatoren - Deel 2. 34 pagina's

Wiesmeier, M., Urbanski, L., Hobbey, E., Lang, B., von Lützow, M., Marin-Spiotta, E., ... & Kögel-Knabner, I. (2019). Soil organic carbon storage as a key function of soils-A review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma*, 333, 149-162.



## 7 Bijlagen

### 7.1 Toelichting op de gemeten (BLN) indicatoren

#### **Methoden:**

Voor de meeste indicatoren is de klassieke chemische analyse uitgevoerd. 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. O.a. de microbiologische indicatoren zijn nog zeer beperkt gevalideerd. Ter vergelijking zijn voor een aantal indicatoren zowel de klassieke als de NIRS-methode gebruikt.

#### **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<sup>+</sup> 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<sub>2</sub> is de pH gemeten in een CaCl<sub>2</sub> 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<sub>4</sub>-N en NO<sub>3</sub>-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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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-vezuren 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-vezuren in de bodem (PLFA's).