

Verschillen in bodemkwaliteit door koolstofmaatregelen

In beeld gebracht aan de hand van de BLN-
indicatorenset

M. Hoogmoed, B.G.H. Timmermans J. Bloem, P. van Asperen, J. Crujisen, J. De Haan,
I. Selin Norén, T. Slier, J.P. Wagenaar, A. Elsen, S. Martens en C.J. Koopmans



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit

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

COLOFON

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

© April 2021

Verschillen in bodemkwaliteit door koolstofmaatregelen; In beeld gebracht aan de hand van de BLN-indicatorenset

37 pagina's

M. Hoogmoed¹, B.G.H. Timmermans¹, J. Bloem², P. van Asperen², J. Cruijssen², J. De Haan², I. Selin Norén², T. Slier², J.P. Wagenaar¹, A. Elsen³, S. Martens³ en C.J. Koopmans¹

¹ Louis Bolk Instituut ² Wageningen University & Research ³Bodemkundige dienst België

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	5
2	Doelstelling	6
3	Werkwijze	7
3.1	Lange termijn experimenten	7
3.2	Metingen aan de koolstofvastlegging en BLN-indicatoren	7
3.3	Data-analyse.....	9
4	Resultaten	11
4.1	Maatregelen akkerbouw	11
4.2	Maatregelen veehouderij.....	19
5	Conclusies en aanbevelingen	21
5.1	Bodemkwaliteitseffecten van maatregelen om koolstof vast te leggen	21
5.2	De BLN indicatorenset.....	21
6	Referenties.....	24
	Bijlage 1. LTE Proefopzet beschrijvingen	25
	Bijlage 2. Toelichting op de gemeten (BLN) indicatoren	28
	Bijlage 3. Analyse resultaten maatregelen akkerbouw	31
	B3.1 Niet-kerende grondbewerking	31
	B3.2 Verbeteren gewasrotatie	34
	B3.3 Compost toevoegen en dierlijke mest toevoegen	35
	Bijlage 4 Analyse resultaten maatregelen veehouderij	37

1 Inleiding

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

Om de klimaatdoelstelling van de landbouw te realiseren wordt er binnen het programma Slim Landgebruik onderzoek gedaan naar landbouwkundige maatregelen die koolstofvastlegging in de bodem effectief kunnen bevorderen. Deze maatregelen hebben echter naar verwachting ook effecten op de bodemkwaliteit. Naast koolstofvastlegging dragen deze maatregelen bij voorkeur bij aan de beleidsdoelstelling om in 2030 alle landbouwbodems duurzaam beheerd te hebben. Binnen de PPS Beter Bodembeheer wordt onderzocht welke set van bodemindicatoren breed toepasbaar is om verschillen in bodemkwaliteit te onderscheiden en te beoordelen. Ook wordt een inventarisatie gemaakt van referentiewaarden. Een eerste versie van deze indicatoren set is beschreven in Hanegraaf *et al.* (2019) en wordt de BLN-indicatorenset genoemd (Bodemkwaliteitsbeoordeling voor Landbouwgronden in Nederland).

Binnen Slim Landgebruik wordt gebruik gemaakt van bestaande lange termijn experimenten (LTE), om de effectiviteit van de koolstofvastlegging van verschillende maatregelen te kunnen beoordelen. In 2019 zijn een vijftal maatregelen om koolstof vast te leggen in geselecteerde LTE's onderzocht (Koopmans *et al.*, 2020) en zijn metingen gedaan aan zowel bodemkoolstof als de BLN-indicatoren set. In dit rapport presenteren we de effecten van deze bodemmaatregelen op de bodemkwaliteit aan de hand van de BLN-indicatoren.



Figuur 1.1. Schematische visualisatie van de samenhang tussen de klimaatopgave en CO₂ vastlegging in landbouwbodems en de bodemkwaliteit gezien vanuit het Nationaal Programma Landbouwbodems, NPL.

2 Doelstelling

Het doel van de analyse uit dit onderzoek is om de effecten van de koolstof-vastleggende maatregelen op de bredere bodemkwaliteit in te schatten met behulp van Lange Termijn Experimenten. Daarbij staat de vraag centraal hoe deze maatregelen metingen uit de BLN-indicatorset beïnvloeden en of de maatregelen naast koolstofvastlegging bijdragen aan een positieve, neutrale of negatieve ontwikkeling van de bodemkwaliteit richting een duurzaam beheer van de bodem?

3 Werkwijze

3.1 Lange termijn experimenten

In het najaar en de winter van 2019-2020 zijn verschillende lange termijn experimenten (LTE's) in Nederland en België bemonsterd om de effecten van koolstof vastleggende maatregelen te testen op een groot aantal parameters uit de BLN-indicatoren set (Koopmans *et al.*, 2020). Omdat veranderingen in de bodem vaak pas na lange tijd zichtbaar of meetbaar worden, zijn op verschillende plekken in Nederland LTE's aangelegd. Deze LTE's zijn vaak niet specifiek aangelegd om veranderingen in koolstof of bodemkwaliteit te meten, maar kunnen hier wel voor gebruikt worden. Tabel 3.1 geeft een overzicht van maatregelen die in de LTE's onderzocht zijn en de locaties van de LTE's. Een beschrijving over de exacte opzet van de verschillende LTE's staat in Bijlage 1. Bij de selectie moest sprake zijn van een volwaardig lange-termijn experiment waarbij een klimaatrelevante maatregel wordt vergeleken met een referentiebehandeling waarin de maatregel niet wordt toegepast (Koopmans *et al.*, 2020). Dit is vaak de meer 'conventionele' werkwijze. In hoofdstuk 4 wordt per LTE aangegeven wat de referentiebehandeling is. De duur van de experimenten is meerdere jaren (>7 jaar) waardoor een eventueel significant verschil in organische stof opbouw in de bodem verwacht mag worden. Indien geen wetenschappelijk lange-termijn experiment voorhanden was maar literatuuronderzoek en de tabel Lesschen (Lesschen, 2012) aangaven dat een maatregel een potentiële bijdrage aan de koolstofvastlegging geven, werd uitgeweken naar praktijkpercelen waarmee een vergelijk kon worden gemaakt tussen percelen mét de maatregel toegepast en percelen waarbij de maatregel achterwege wordt gelaten. Ook kan de maatregel in oplopende mate worden toegepast. Dit betreft bijvoorbeeld de oplopende leeftijd van grasland (=oplopende leeftijd) of een bouwplan verbetering door middel van een oplopend aandeel graan in het bouwplan.

Tabel 3.1 Geselecteerde maatregelen en de lange termijn experimenten waarin zowel de koolstof vastlegging alsook de BLN-indicatoren zijn gemeten zijn op zand en kleigronden in het najaar van 2019.

Maatregelen akkerbouw	Klei	Zand
Niet-kerende grondbewerking	Centrale klei (Lelystad-WUR) Vlaamse klei (Rumbeke-Beitem - Vlaanderen)	Zuidelijk zand (Vredepeel - Limburg)
Verbeteren gewasrotaties	Zeeuwse klei (Bedrijven - Zeeland) Centrale klei (Bedrijven - Flevoland)	Zuidelijk zand (Bedrijven - Brabant)
Compost toevoegen	Centrale klei (Lelystad-WUR) Centrale klei (Lelystad-LBI)	
Dierlijke mest toevoegen	Centrale klei (Lelystad-LBI)	
Maatregelen veehouderij		
Leeftijd van grasland	Noordelijke klei (Bedrijven - Friesland)	Zuidelijk zand (Bedrijven - Brabant)

3.2 Metingen aan de koolstofvastlegging en BLN-indicatoren

De metingen en analyses aan de grondmonsters zijn uitgevoerd volgens de gestandaardiseerde protocollen binnen Slim Landgebruik, en staan beschreven in Koopmans *et al.*, (2020) en Hanegraaf *et al.*, (2019). Tabel 3.2 geeft een overzicht van de gemeten indicatoren, de analysemethode en hun afkortingen zoals gebruikt in de figuren in dit rapport. De metingen en analyses zijn uitgevoerd door medewerkers van het Louis Bolk Instituut en Wageningen UR, en laboratoria van Eurofins Agro, Louis Bolk Instituut, WenR en de bodemkundige dienst van België (BDB).

Voor sommige 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 voordelen, zoals dat het snel en relatief goedkoop is. Maar deze methode is nog niet voor alle indicatoren wetenschappelijk gevalideerd. Ter vergelijking zijn daarom hier zowel de klassieke als de NIRS-methode gebruikt. Een toelichting op de gemeten indicatoren is opgenomen in Bijlage 2.

Bij de selectie van de te meten BLN-indicatoren is rekening gehouden met praktische restricties. Onder andere de tijd en kosten van de metingen, de kwaliteit, en opzet van de LTE's. Zo is de wormenanalyse niet opgenomen omdat deze relatief veel verstoring in de plots veroorzaken en de plots uit de LTE's vaak niet groot genoeg zijn om hier ruimte voor te bieden. Ook zijn de verschillen onder akkerbouw omstandigheden zo gering gebleken dat statistisch geen verschillen te verwachten waren.

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

Categorie	Afkorting	Volledige naam	Analyse methode	Eenheid
Organische stof	C-ele	C-elementair	Dumas	%
	OS-gloeï	Organisch stofgehalte	Gloeiverlies	%
	OS - N	Organisch stofgehalte	NIRS	%
	HWC	Hot water extractable carbon	Heetwater extractie	mg kg ⁻¹
Fysisch	Klei	Kleifractie (Lutum, <2 µm),	NIRS	%
	Indr Max	Maximale indringingsweerstand	Penetrometer	MPa
	Indr gem	Gemiddelde indringingsweerstand	Penetrometer	MPa
	bd	Droge bulkdichtheid	Steekringmethode	kg m ⁻³
	WVV	Watervasthoudend vermogen	Berekend op basis van pF curve (pF 4,2 - pF2)	%
	% Scherpb Beworteling	Scherpblokkige structuurdelen Hoeveelheid wortels	Visueel, bodemscan Visueel, bodemscan	% index 0-2
Chemisch	pH-CaCl ₂	Zuurgraad	CaCl ₂ extractie	
	N-tot N	N-totaal	NIRS	mg N kg ⁻¹
	N-tot K	N-totaal	Kjeldahl	mg N kg ⁻¹
	N-min	N-mineraal in het najaar	CaCl ₂ extractie	kg ha ⁻¹
	P-PAE	P-beschikbaar	CaCl ₂ extractie	mg P kg ⁻¹
	Pw	P-beschikbaar	Water extractie	mg P ₂ O ₅ L ⁻¹
	PAL	P-voorraad	Ammoniumlactaat extractie	mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹
	K-PAE	K-beschikbaar	CaCl ₂ extractie	mg K kg ⁻¹
	K-voor N	K-voorraad	NIRS	mmol K kg ⁻¹
	Biologisch	PMN N	Potentieel mineraliseerbare stikstof	NIRS
Microb biom		Microbiële biomassa	NIRS	mg C kg ⁻¹
Bact Biom		Bacteriebiomassa	NIRS	mg C kg ⁻¹
Schim biom		Schimmelbiomassa	NIRS	mg C kg ⁻¹

3.3 Data-analyse

Data-analyse is uitgevoerd met de programma's R (*niet-kerende grondbewerking op Centrale klei, en compost en dierlijke mest toevoegen op Centrale klei*) en Genstat (overige LTE's). De data-analyse is per maatregel en per LTE uitgevoerd op de metingen in de 0-30 cm bodemlaag. Vanwege de verschillende opzet van de proeven zijn verschillende analyses uitgevoerd. Voor de geblokte proeven met herhalingen is eerst gecheckt of de data normaal verdeeld waren. Bij een normale verdeling is een ANOVA test uitgevoerd. Indien de data niet normaal verdeeld waren is een log-transformatie uitgevoerd waarna de verdeling in veel gevallen normaal bleek en alsnog een ANOVA kon worden uitgevoerd. Enkele parameters bleven niet normaal verdeeld. Hiervoor werd een Kruskal-Wallis test uitgevoerd. Bij de LTE's *verbeteren gewasrotatie* en *leeftijd van grasland*, die een ongebalanceerde indeling hadden, zijn de data die niet normaal verdeeld waren niet meegenomen in de vergelijkende statistiek. Bij een significant resultaat van meerdere behandelingen, is een least significant difference (LSD) post-hoc test uitgevoerd om de verschillen tussen de behandelingen te bepalen.

Voor de LTE *verbeteren gewasrotatie* zijn er niet evenveel percelen per behandeling. Daarom is hier een unbalanced ANOVA gebruikt, waarbij het aandeel graan als behandeling en de drie meetregio's als blok zijn meegenomen (we verwachtten een te grote variatie om regio als factor mee te nemen omdat de dataset relatief klein was en de locaties allen op verschillende bedrijven lagen).

Voor de LTE *leeftijd van grasland* zijn er in 2019 slechts een beperkt aantal metingen uitgevoerd. Deze zijn onderverdeeld in jong (0-3 jaar oud) en oud (meer dan 10 jaar oud) grasland. Een dergelijke dataset is bemonsterd voor zand en kleigrond, beide in een representatieve groep percelen vrij dicht bij elkaar en op slechts enkele bedrijven. Hier is voor de statistische toets gekozen voor een unbalanced ANOVA, met leeftijd van grasland en grondsoort als behandeling, beide met twee niveaus (grondsoort is hier als factor getoetst omdat er behoorlijke homogeniteit was in monsterlocaties per grondsoort).

Statistische begrippen

Geblokte proef: Een vrij standaard proefopzet waarbij de herhalingen in blokken op het proefveld liggen.

Statistische toetsen: De statistische toets bepaalt of twee of meer behandelingen significant van elkaar verschillen. Er bestaan verschillende toetsen. In dit onderzoek zijn de (unbalanced) ANOVA en Kruskal-Wallis test gebruikt. De keuze voor een de statistische toets hangt af van een aantal factoren, waaronder de opzet van het experiment en de verdeling van de data.

Post hoc test: Een verlenging van de statistische toets bij drie of meer behandelingen. De statistische toets zegt enkel dat er wel of geen significant verschil is gevonden, maar zegt niet welke behandelingen precies van elkaar verschillen (bij een significant resultaat). De post hoc test identificeert waar de significante verschillen liggen.

Log-transformatie: bepaalde statistische toetsen, zoals de ANOVA, kunnen alleen betrouwbaar worden ingezet wanneer de data een zogenaamde 'normale verdeling' heeft. Dat wil zeggen dat de meeste datapunten rond het gemiddelde liggen, en hoe verder van het gemiddelde af, hoe minder datapunten er zijn. Wanneer de datapunten op een andere, niet-normale, manier verdeeld liggen kan met een transformatie geprobeerd worden om de datapunten toch een normale verdeling te laten aannemen. Bij een log-transformatie worden voor alle waarden in de dataset hun logaritme berekend en met deze log-waarde de wordt de statistische toets uitgevoerd.

Ongebalanceerde indeling: Een ongebalanceerde indeling betekent dat de verschillende behandelingen in een LTE niet evenveel herhalingen hebben. Er zijn dan dus meer datapunten voor de ene behandeling dan voor de andere behandeling. Hier moet rekening mee worden gehouden bij het kiezen van een statistische toets.

4 Resultaten

4.1 Maatregelen akkerbouw

4.1.1 Niet-kerende grondbewerking

De resultaten

Voor de maatregel *niet-kerende grondbewerking* (NKG) zijn drie verschillende LTE's bemonsterd. Twee bevonden zich op kleigrond en één op zandgrond. De volgende resultaten zijn gevonden (tabel 4.1, 4.2 en 4.3):

- Op Zuidelijk zand is een trend ($P < 0.1$) van een lagere concentratie organische koolstof (C-*ele*) bij NKG vergeleken met ploegen.
- Er was een hogere bulk dichtheid onder NKG vergeleken met ploegen. Dit verschil was significant op Vlaamse klei en Zuidelijk zand.
- Op Zuidelijk zand was de gemiddelde en maximale indringingsweerstand significant hoger onder NKG vergeleken met ploegen.
- Op Zuidelijk zand was er een significant hoger water-vasthoudend vermogen onder NKG.
- Op Zuidelijk zand was er significant meer beschikbare kalium onder NKG vergeleken met ploegen ($P < 0,05$).
- Op Vlaamse klei was de pH significant hoger onder ploegen dan onder NKG.
- Op Centrale klei was een trend voor hogere bacteriële biomassa onder NKG vergeleken met ploegen ($P < 0.1$).

Discussie

Zoals eerder beschreven in Koopmans *et al.* (2020) zien we geen eenduidig effect van NKG op de bodem organische stof. Op Zuidelijk zand zien we een trend van lagere organische stof concentratie bij NKG, en op Vlaamse en Centrale klei zien we geen effect. In zandgrond breekt organische stof sneller af dan in klei waar zowel organisch materiaal als micro-organismen meer beschermd worden door kleine poriën en adsorptie. In het algemeen is het makkelijker om organische stof en bodemleven te verhogen op klei dan op zand, behalve als de begin niveaus al hoog zijn. Dit laatste zou een rol kunnen spelen op Zuidelijk zand, waar het organische stof gehalte gemiddeld genomen rond de 4% lag, wat voor zandgrond erg hoog is. Deze relatief hoge organische stofgehalten zijn mogelijk veroorzaakt door het over de jaren heen omhoog werken van een venige ondergrond. Voor een uitgebreidere beschrijving van de effecten van NKG op organische stof en koolstofopbouw, inclusief correctie van uitgangshechten van plot met oudere data (Zuidelijk zand) verwijzen we naar Koopmans *et al.* (2020).

Dat er op Centrale klei geen verschil gevonden is in organische stofgehalte, is in tegenstelling met resultaten uit voorgaande onderzoeken (Schouten *et al.*, 2018; Hoek *et al.*, 2019) toen een toename van de organische stof op klei gerapporteerd is. Hiervoor zijn verschillende verklaringen mogelijk:

- Het geringere aantal monsters genomen in deze studie ten opzichte van Schouten *et al.* (2018) en Hoek *et al.* (2019). In de huidige bemonstering waren er 2x4 monsters beschikbaar, terwijl genoemde publicaties zijn gebaseerd op 32 monsters. Meer monsters binnen eenzelfde proef geeft een nauwkeuriger schatting van gemiddelde en standaardfout. Met een subset van 2x4 monsters gaven de toenmalige meetwaarden ook geen significant effect van NKG. De resultaten (tabel x) laten zien dat de organische stof parameters met NKG wel consistent wat hoger zijn dan met ploegen. Het beeld dat ontstaat uit deze studie van organische stof (gloeiverlies), C elementair en HWC voldoen aan de verwachting.
- Grasklaver in de vruchtwisseling. Dit gewas heeft mogelijk tot een behoorlijke input van organische stof in het systeem geleid, en zo de verschillen tussen ploegen en NKG verkleind. We zien dit terug in de trend van de HWC, die vaak gezien wordt als een voorbode voor veranderingen van organische stof. De HWC-waarden van

2016, voor de grasklaver, en 2019 komen voor NKG overeen. Voor ploegen is dit niet zo: In 2016 voor de grasklaver was de HWC met ploegen lager dan met NKG, maar in 2019 gelijk.

Grondbewerking is een fysieke behandeling van de bodem. De hypothese is daarom dat er verschillen in bodemstructuur zullen optreden bij verschillende vormen van grondbewerking. Door te ploegen wordt de stabiele, biologisch gevormde bodemstructuur verstoord. Biologisch gevormde bodemkruimels breken uit elkaar en poriën worden verstoord. In de eerste aantal jaren na omschakeling van ploegen naar niet-kerende of gereduceerde grondbewerking zien we vaak dat de bodem juist eerst compacter wordt, omdat deze niet meer elk jaar 'opgeschud' wordt. De bodem heeft tijd nodig om te herstellen en om een biologisch gevormde bodemstructuur op te bouwen. In de LTE's die hier bemonsterd zijn wordt al minimaal 10 jaar lang NKG toegepast. De significante verschillen die in de LTE's gevonden zijn, wijzen op de fysieke effecten van het niet meer ploegen van de grond. We zien een hogere bulkdichtheid en indringingsweerstand in NKG. Dit hoeft niet meteen een slechtere structuur te betekenen. Het kan duiden op een verandering naar meer micro- en meso-poriën, en minder macroporiën wat ook kan zorgen voor een beter watervasthoudend vermogen en doorworteling. Dit zien we op Zuidelijk zand, waar bulk dichtheid en indringingsweerstand significant hoger zijn, maar het watervasthoudend vermogen ook hoger is geworden.

Voor bodemleven zagen we op Centrale klei een trend ($P < 0.1$) richting hogere bacteriële biomassa bij NKG vergeleken met ploegen. De schimmelbiomassa lijkt fors hoger, maar deze resultaten zijn niet significant verschillend tussen NKG en ploegen, door grote variatie tussen de herhalingen.

Tabel 4.1 Vlaamse klei. Effect van niet-kerende grondbewerking t.o.v. ploegen (referentie). Een asterisk (*) betekent een trend met $P < 0,01$, ** is een significant verschil met $P < 0,05$. Zie tabel 3.2 voor de betekenis van de afkortingen. Verschillende letters (a en b-tjes) geven significante verschillen aan tussen de behandelingen.

Categorie	Meting	Eenheid	Ploegen	Niet-kerende grondbewerking	Effect
Organische Stof	C-ele	%	1,3	1,3	
	OS-gloei	%	2,8	2,7	
	OS - N	%	2,4	2,4	
	HWC	mg kg ⁻¹	666	669	
Fysisch	Klei	%	12	11	*
	Indr Max	MPa	1,0	1,4	
	Indr gem	MPa	0,6	0,6	
	bd	kg m ⁻³	1449 a	1501 b	**
	WVV	%	24	23	
	% Scherpb	%	6	8	
	Beworteling	index 0-2	2,0	2,0	
Chemisch	pH-CaCl2		6,2 b	6,1 a	**
	N-tot N	g N kg ⁻¹	1312	1265	
	N-tot K	g N kg ⁻¹	1423	1395	
	N-min	kg ha ⁻¹	15,7	12,8	
	P-PAE	mg P kg ⁻¹	0,7	0,9	
	Pw	mg P ₂ O ₅ L ⁻¹	17,3	17,3	
	PAL	mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹	22,0	19,8	
	K-PAE	mg K kg ⁻¹	76,5	72,5	
	K-voor N	mmol+ K kg ⁻¹	2,8	3,2	
Biologisch	PMN N	mg N kg ⁻¹	50,3	50,3	
	Microb biom	mg C kg ⁻¹	455750	393000	
	Bact Biom	mg C kg ⁻¹	185750	193750	
	Schim biom	mg C kg ⁻¹	147750	136750	

Tabel 4.2 Centrale klei. Effect van niet-kerende grondbewerking t.o.v. ploegen (referentie). Een asterisk (*) betekent een trend met $P < 0,01$, ** is een significant verschil met $P < 0,05$. Zie tabel 3.2 voor de betekenis van de afkortingen. Verschillende letters (a en b-tjes) geven significante verschillen aan tussen de behandelingen.

	Meting	Eenheid	Ploegen	Niet-kerende grondbewerking	Effect grondbewerking
Organische stof	C-ele	%	0,9	1,0	
	OS-gloei	%	2,0	2,2	
	OS - N	%	2,0	1,9	
	HWC	mg kg ⁻¹	353	370	
Fysisch	Klei	%	15	16	
	Indr Max	MPa	1,5	2,2	
	Indr gem	MPa	0,5	0,2	
	bd	kg m ⁻³	1538	1600	
	WVV	%	17,7	17,0	
	% Scherpb	%	10	10	
	Beworteling	index 0-2	1,0	1,0	
Chemisch	pH-CaCL2		7,6	7,5	
	N-tot N	g N kg ⁻¹	905,00	966,67	
	N-tot K	g N kg ⁻¹	895,00	896,67	
	N-min	kg ha ⁻¹	14,8	13,2	
	P-PAE	mg P kg ⁻¹	0,8	1,0	
	Pw	mg P ₂ O ₅ L ⁻¹	25,0	25,3	
	PAL	mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹	43,0	41,3	
	K-PAE	mg K kg ⁻¹	66,5	63,3	
	K-voor N	mmol+ K kg ⁻¹	3,2	3,6	
Biologisch	PMN N	mg N kg ⁻¹	21,0	26,0	
	Microb biom	mg C kg ⁻¹	75,5	118,3	
	Bact Biom	mg C kg ⁻¹	28,5	50,7	*
	Schim biom	mg C kg ⁻¹	15,5	40,7	

Tabel 4.3 Zuidelijk zand. Effect van niet-kerende grondbewerking t.o.v. ploegen (referentie). Een asterisk (*) betekent een trend met $P < 0,01$, ** is een significant verschil met $P < 0,05$. Zie tabel 3.2 voor de betekenis van de afkortingen. Verschillende letters (a en b-tjes) geven significante verschillen aan tussen de behandelingen.

Categorie	Meting	Eenheid	Ploegen	Niet-kerende grondbewerking	Effect grondbewerking
Organische stof	C-ele	%	2,2	2,0	*
	OS-gloei	%	4,0	3,8	
	OS - N	%	4,1	3,9	
	HWC	mg kg ⁻¹	576	580	
Fysisch	Klei	%	1,1	1,1	
	Indr Max	MPa	1,6	2,1	**
	Indr gem	MPa	0,7	1,1	**
	bd	kg m ⁻³	1316	1404	**
	WVV	%	10	12	**
	% Scherpb	%	20	19	
	Beworteling	index 0-2	1,8	1,9	
Chemisch	pH-CaCL2		5,7	5,7	
	N-tot N	g N kg ⁻¹	1,13	1,10	
	N-tot K	g N kg ⁻¹	1,22	1,11	
	N-min	kg ha ⁻¹	9,3	8,3	
	P-PAE	mg P kg ⁻¹	1,5	1,6	
	Pw	mg P ₂ O ₅ L ⁻¹	33,6	35,1	
	PAL	mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹	41,8	42,9	
	K-PAE	mg K kg ⁻¹	56,7	71,6	**
	K-voor N	mmol+ K kg ⁻¹	1,7	1,8	
Biologisch	PMN N	mg N kg ⁻¹	14,1	10,1	
	Microb biom	mg C kg ⁻¹	139,6	137,9	
	Bact Biom	mg C kg ⁻¹	26,2	23,6	
	Schim biom	mg C kg ⁻¹	15,9	13,7	

4.1.2 Verbeteren gewasrotatie

De resultaten

De maatregel *verbeteren gewasrotatie* is getest op verschillende bedrijven op Centrale klei (Flevoland), Zeeuwse Klei (Zeeland) en Zuidelijk zand (Brabant) op percelen met een hoog of laag aandeel graan in het bouwplan. De resultaten tonen de volgende verschillen tussen bouwplannen met veel en weinig graan (Tabel 4.4):

- Er is een trend ($P < 0,1$) dat percelen met een hoger aandeel graan een hoger organisch koolstofgehalte in de bodem hadden (C-*ele*). Dit wijst op een hogere hoeveelheid bodemorganische stof.
- De concentratie Hot Water Carbon (HWC) was significant hoger bij percelen met een hoog aandeel graan. HWC wordt gezien als een vroege indicator voor veranderingen in organische stofgehalte.
- Percelen met een hoger aandeel graan hadden een lagere gemiddelde indringingsweerstand van de bodem ten tijde van de meting. Dit wijst op een minder compacte structuur.
- De bulk dichtheid van de bodem was significant lager bij percelen met een hoog aandeel graan.
- De totale voorraad stikstof gemeten met de NIRS-methode (N-tot N) was hoger bij percelen met een hoger aandeel graan.
- De hoeveelheid plant beschikbaar kalium (K-PAE) en de kalium voorraad (K-voor N) waren hoger bij percelen met een hoger aandeel graan
- De metingen aan het bodemleven met de NIRS-methode waren allen of significant hoger (PMN, bacteriële biomassa) of toonden de trend van een hogere waarde (microbiële en schimmel biomassa) voor percelen met een hoger aandeel graan.

Discussie

De resultaten tonen significante verschillen tussen percelen met een hoog en laag aandeel graan. Om een goede conclusie te kunnen trekken over deze gemeten verschillen is de uitgangssituatie van de percelen belangrijk. Omdat we te maken hebben met praktijkpercelen zijn niet alle omgevings- en beheerfactoren altijd bekend. Van de meeste percelen is het beheer (bijvoorbeeld gewas en bemesting) redelijk bekend tot ongeveer 10 jaar geleden, maar ook het grondgebruik en beheer van langer daarvoor kan een aanzienlijke invloed hebben gehad op organische stofgehalten. Hierdoor is het niet met 100% zekerheid te zeggen is dat de gemeten verschillen het resultaat zijn van het aandeel graan in het bouwplan. Wel zijn de resultaten in overeenstemming met de verwachtingen van de effecten van graangewassen in een bouwplan. Deze hebben relatief veel wortels. Een verhoging van de bodemorganische stof en daarmee de activiteit van het bodemleven lijkt daarom in overeenstemming met de verwachting. Bovendien zien we een lagere bodemdichtheid en een gemiddeld minder compacte structuur. Ook dit is in overeenstemming met de verwachting, ook vanwege de relatief intensieve beworteling van graangewassen. De toename in stikstof kan mogelijk verklaard worden vanuit de toename in organische stof, die ook stikstof bevat. De toename in kalium (plant beschikbaar en voorraad) is lastiger te begrijpen, maar kan mogelijk het gevolg zijn van minder onttrekking door een extensiever bouwplan.

Tabel 4.4. Effect van aandeel graan in het bouwplan. Een asterisk (*) betekent een trend met $P < 0,01$, ** is een significant verschil met $P < 0,05$. Zie tabel 3.2 voor de betekenis van de afkortingen. Verschillende letters (a en b-tjes) geven significante verschillen aan tussen de behandelingen.

Categorie	Meting	Eenheid	Centrale klei		Zeeuwse klei		Zuidelijk zand		Overall gemiddelde		Effect graan
			Laag aandeel graan	Hoog aandeel graan	Laag aandeel graan	Hoog aandeel graan	Laag aandeel graan	Hoog aandeel graan	Laag aandeel graan	Hoog aandeel graan	
Organische stof	C-ele	%	1,7	1,9	1,0	1,7	2,0	2,4	1,6	1,9	*
	OS-gloei	%	3,4	3,4	2,1	3,3	3,7	4,2	3,2	3,5	
	OS - N	%	3,2	3,2	2,1	3,1	3,5	4,1	3,0	3,3	
	HWC	mg kg ⁻¹	513	690	456	607	675	746	566 a	676 b	**
Fysisch	Klei	%	23	24	20	32	1	1	13	22	
	Indr Max	MPa	1,2	1,6	2,0	1,0	2,4	1,2	1,9	1,4	
	Indr gem	MPa	0,6	0,6	1,1	0,4	1,2	0,5	1,0 b	0,5 a	**
	bd	kg m ⁻³	1378	1345	1472	1359	1488	1262	1448 b	1332 a	**
	WVV	%	19	19	23	23	19	14	20	19	
	% Scherpb	%	29	35	22	33	34	15	29	31	
	Beworteling	index 0-2	1,0	1,2	1,7	2,0	0,8	1,5	1,1	1,5	
Chemisch	pH-CaCl ₂		7,5	7,1	7,4	7,5	5,8	5,5	6,8	6,9	
	N-tot N	g N kg ⁻¹	1,52	1,71	1,09	1,65	1,19	1,34	1,27 a	1,62 b	**
	N-tot K	g N kg ⁻¹	1,57	1,71	1,23	1,89	1,25	1,27	1,35	1,68	
	N-min	kg ha ⁻¹	20,1	14,7	11,1	13,5	9,0	7,0	13,2	12,8	
	P-PAE	mg P kg ⁻¹	1,2	1,4	0,9	1,5	7,8	7,9	3,9	2,7	
	Pw	mg P ₂ O ₅ L ⁻¹	30,0	32,2	27,7	37,0	116,2	106,5	65,3	48,5	
	PAL	mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹	51,8	54,4	47,3	66,3	116,6	100,0	77,7	67,1	
	K-PAE	mg K kg ⁻¹	87,8	116,8	81,7	110,3	81,8	88,0	83,8	109,1	*
	K-voor N	mmol+ K kg ⁻¹	5,7	6,1	4,3	7,7	2,2	2,3	3,9	5,8	*
Biologisch	PMN N	mg N kg ⁻¹	18,0	26,8	26,7	40,7	23,6	30,5	22,5 a	31,7 b	**
	Microb biom	mg C kg ⁻¹	163,8	253,6	222,0	342,7	175,4	191,5	183,2	267,9	*
	Bact Biom	mg C kg ⁻¹	72,5	104,0	88,3	144,0	50,8	61,0	67,4 a	107,4 b	**
	Schim biom	mg C kg ⁻¹	45,5	73,8	58,3	93,0	35,0	42,0	44,3	73,2	*

4.1.3 Compost toevoegen en dierlijke mest toevoegen

De resultaten

Voor de maatregel *compost toevoegen* zijn twee LTE's op Centrale klei bemonsterd (Tabel 4.5 en 4.6). De maatregel *dierlijke mest toevoegen* is bemonsterd binnen dezelfde LTE als de maatregel *compost toevoegen* op Centrale klei (Tabel 4.5):

- In de LTE Centrale klei (Lelystad-LBI) waren alle organische stofindicatoren (C-ele, OS-gloei, OS-N, HWC) significant ($P < 0,05$) hoger bij het toevoegen van natuurcompost vergeleken met kunstmest (en drijfmest).
- In de LTE Centrale klei (Lelystad-WUR) waren de organische stof indicatoren significant hoger met het gebruik van (de meeste soorten) organische mest of compost. Zoals verwacht gaven de hoogste doseringen de grootste verhoging.
- In de LTE Centrale klei (Lelystad-LBI) was de bulkdichtheid significant lager onder potstalmest vergeleken met kunstmest.
- Stikstof (gemeten via beide methoden, NIRS-technologie en Kjeldahl) was significant hoger dan kunstmest, bij een aantal van de verschillende organische bemestingen in beide LTE's.
- De beschikbare kalium was substantieel (trend, $P < 0,1$) hoger onder potstalmest vergeleken met kunstmest in de LTE Centrale klei (Lelystad-LBI).
- Watervasthoudend vermogen was hoger bij het gebruik van organische mest en/of compost in de LTE Centrale klei (Lelystad-WUR).

Discussie

In de LTE Centrale klei (Lelystad-LBI) zijn zeven organische mest en compostsoorten vergeleken. De LTE ligt op een biologisch bedrijf waar intensieve grondbewerking plaatsvindt. Dit kan mogelijk verklaren waarom er – tegen de verwachting uit eerdere rapportage in Koopmans en Bloem (2018) in – geen significante verhogingen in organische stof zijn gevonden bij de overige mest en compostsoorten. Vanwege de opzet van de proef werden in elke behandeling verschillende hoeveelheden organische stof (droge stof) toegevoegd. Met natuurcompost en potstalmest werden ruim de hoogste hoeveelheden organische stof aangevoerd (zie proefomschrijving in Bijlage 1). Dit verklaart ook de significant hogere hoeveelheid stikstof (N-tot) in de natuurcompost behandeling, vergeleken met kunstmest.

In de LTE Centrale klei (Lelystad-WUR) hadden de compost behandelingen een minder groot effect op de HWC (labiele koolstof) dan de maaimeststoffen. HWC correleert vaak met de microbiële activiteit. De hoogste HWC-waarde gemeten bij toediening van maaimeststof is dan ook volgens verwachting, aangezien dit een verse, relatief makkelijk afbreekbare organische stof is. Opmerkelijk genoeg is in de LTE Centrale klei (Lelystad-LBI) juist een significant hogere HWC gevonden bij de natuurcompost en niet bij de andere makkelijker verteerbare organische stofsoorten. Mogelijk heeft dit nogmaals te maken met de grote hoeveelheid droge stof die is toegediend middels de natuurcompost. Er zijn in de LTE Centrale klei (Lelystad-WUR) nog wat andere chemische verschillen. Zo hadden de behandelingen met maaimeststoffen relatief niet zo veel fosfaat maar meer kalium. De verschillen zijn beperkt van grootte, en resulteren uit de verschillen in samenstelling van de meststoffen.

Tabel 4.5 Centrale klei, LTE Lelystad LBI. Effect van compost en dierlijke mest toevoegen, t.o.v. kunstmest (referentie). Een asterisk (*) betekent een trend met $P < 0,01$, ** is een significant verschil met $P < 0,05$. Zie tabel 3.2 voor de betekenis van de afkortingen. Verschillende letters (a en b-tjes) geven significante verschillen aan tussen de behandelingen.

Bemestingsstrategie*:		Plant voeden		Bodem en plant voeden				Bodem voeden			
	Meting	Eenheid	kunst-mest	drijf-mest	potstal-mest	kippen-mest	GFT + drijfmest	groen-compost	GFT	natuur-compost	Effect
Organische stof	C-ele	%	0,9 b	0,9 b	1,0 ab	1,0 ab	1,0 ab	0,9 b	1,0 ab	1,1 a	**
	OS-gloeï	%	1,8 b	1,9 b	2,1 ab	1,9 b	2,1 b	2,0 b	2,0 b	2,4 a	**
	OS - N	%	1,8 b	1,9 b	2,1 ab	1,9 b	2,1 b	2,0 b	2,1 b	2,3 a	**
	HWC	mg kg ⁻¹	338 b	355 b	421 ab	360 ab	422 ab	364 ab	339 b	443 a	**
Fysisch	Klei	%	8	7	7	7	7	7	7	7	
	Indr Max	MPa	0,7	2,0	1,3	0,9	0,8	0,7	1,5	1,2	
	Indr gem	MPa	0,4	0,8	0,7	0,4	0,4	0,3	0,7	0,5	
	bd	kg m ⁻³	1522 a	1516 a	1428 b	1513 a	1448 ab	1498 ab	1478 ab	1467 ab	**
	WVV	%	22	24	17	23	15	17	19	20	
	% Scherpb	%	53	39	46	35	49	55	48	56	
	Beworteling	index 0-2	0,5	0,5	1,0	1,0	0,8	1,0	0,3	0,8	
Chemisch	pH-CaCl ₂		7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,5	
	N-tot N	g N kg ⁻¹	810 b	818 b	928 ab	850 b	898 ab	810 b	858 b	1018 a	**
	N-tot K	g N kg ⁻¹	810 c	853 c	963 abc	923 bc	1003 ab	865 bc	905 bc	1080 a	**
	N-min	kg ha ⁻¹	5,4	6,5	5,6	7,0	7,2	9,0	6,8	11,125	
	P-PAE	mg P kg ⁻¹	0,9	0,9	1,55	1,5	1,6	0,9	1,2	1,125	
	Pw	mg P ₂ O ₅ L ⁻¹	26,5	25,5	31,25	32,5	32,3	25,0	27,5	28,5	
	PAL	mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹	45,0	42,0	48	53,8	50,5	41,5	43,5	47,5	
	K-PAE	mg K kg ⁻¹	66,0	76,8	132,25	73,0	97,8	67,0	61,5	74,25	*
K-voor N	mmol+ K kg ⁻¹	3,5	3,8	4	3,6	3,6	3,5	3,9	3,975		
Biologisch	PMN N	mg N kg ⁻¹	22,5	21,3	20,25	23,8	27,5	22,0	18,5	26,25	
	Microb biom	mg C kg ⁻¹	140,0	104,5	139,0	102,8	117,3	94,5	93,0	122,5	
	Bact Biom	mg C kg ⁻¹	42,5	41,0	58,5	47,0	54,5	46,5	35,8	48,8	
	Schim biom	mg C kg ⁻¹	44,5	32,0	45,3	31,5	41,8	37,5	17,5	41,5	

* Bij de bemestingsstrategie 'plant voeden' worden direct plant beschikbare nutriënten aangevoerd. Bij de strategie 'bodem voeden' worden stabielere organische stoffen toegevoerd met een relatief hoog gehalte organische stof en langzamer vrijkomende nutriënten om de bodemkwaliteit te verbeteren. De strategie bodem en plant voeden is een combinatie van beide strategieën.

Tabel 4.6 Centrale klei, LTE Lelystad WUR. Effect van compost t.o.v. kunstmest (referentie). Een asterisk (*) betekent een trend met $P < 0,01$, ** is een significant verschil met $P < 0,05$. Zie tabel 3.2 voor de betekenis van de afkortingen. Verschillende letters (a en b-tjes) geven significante verschillen aan tussen de behandelingen.

	Meting	Eenheid	Compost 20 ton		Compost 40		Maaimeststof		Maaimeststof		Drijfmest		Effect organische stof		
			Kunstmest	- GA	ton - GA	standaard - BIO	dubbel - BIO	Drijfmest							
Organische stof	C-ele	%	0,9	d	1,0	c	1,1	a	1,1	ab	1,2	a	1,0	bc	**
	OS-gloeï	%	2,1	b	2,2	b	2,5	a	2,5	a	2,5	a	2,3	ab	**
	OS - N	%	1,8	b	1,9	ab	2,3	a	2,1	ab	2,2	ab	2,0	ab	**
	HWC	mg kg ⁻¹	377	c	408	bc	457	ab	486	ab	511	a	477	ab	**
Fysisch	Klei	%	15	ab	15	a	15	a	17	ab	18	a	17	ab	**
	Indr Max	MPa	1,5		1,2		1,2		1,4		1,5		1,8		
	Indr gem	MPa	0,5		0,5		0,6		0,5		0,6		0,6		
	bd	kg m ⁻³	1433		1440		1427		1414		1372		1413		
	WVV	%	16,9		17,6		18,0		22,5		21,6		18,8		**
	% Scherpb	%	10		6		0		10		11		10		*
	Beworteling	index 0-2	1,0		1,8		1,8		1,5		1,5		1,5		
Chemisch	pH-CaCl ₂		7,6		7,6		7,5		7,6		7,5		7,5		
	N-tot N	g N kg ⁻¹	0,92	b	0,93	ab	1,05	ab	1,08	ab	1,09	a	0,95	ab	**
	N-tot K	g N kg ⁻¹	0,82	b	0,95	ab	1,01	a	1,01	a	1,06	a	0,95	ab	**
	N-min	kg ha ⁻¹	8,6		7,7		9,2		9,3		10,4		7,0		*
	P-PAE	mg P kg ⁻¹	1,3		0,6		0,7		0,7		0,7		1,3		
	Pw	mg P ₂ O ₅ L ⁻¹	26,8		22,8		24,8		21,3		22,3		25,0		
	PAL	mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹	39,0	ab	38,8	ab	44,5	a	31,5	b	35,8	b	33,5	b	**
	K-PAE	mg K kg ⁻¹	63,0	ab	51,8	b	61,5	ab	61,0	ab	73,8	a	54,3	b	**
K-voor N	mmol+ K kg ⁻¹	2,8	b	3,2	ab	4,0	ab	3,7	ab	4,4	a	3,5	ab	**	
Biologisch	PMN N	mg N kg ⁻¹	25,5		25,5		27,3		27,0		26,0		22,3		
	Microb biom	mg C kg ⁻¹	89,8	b	117,3	ab	203,8	a	138,5	ab	137,5	ab	132,0	ab	**
	Bact Biom	mg C kg ⁻¹	42,8	b	56,5	ab	69,3	a	69,3	a	64,8	ab	55,8	ab	**
	Schim biom	mg C kg ⁻¹	28,8		24,8		55,0		41,3		39,3		40,3		

4.2 Maatregelen veehouderij

4.2.1 4.2.1 Leeftijd grasland verhogen

De resultaten

De maatregel *leeftijd grasland verhogen* (niet of minder frequent scheuren) is in 2019 gemeten op een aantal dicht bij elkaar gelegen praktijkpercelen gelegen op vergelijkbare bodems op Zuidelijk zand en op Noordelijke klei. De resultaten laten de volgende verschillen zien tussen jong (0-3 jr. geleden gescheurd) en oud (> 10 jr. niet gescheurd) grasland (Tabel 4.7):

- Er was een trend van meer organische stof (gloeiverlies) in de percelen met oud grasland voor beide bodemtypen.
- De HWC was significant hoger voor percelen met oud grasland op beide bodemtypen. HWC wordt wel gezien als een maat voor de hoeveelheid en activiteit van het bodemleven. Dit wordt vaak gezien als een “early indicator” voor veranderingen in bijvoorbeeld organische stof.
- Percelen met oud grasland hadden gemiddeld genomen een significant lagere bulkdichtheid dan percelen met jong grasland.
- Percelen met oud grasland hadden op Noordelijke klei een significant hoger water vasthoudend vermogen (WVV, indicator voor het plant opneembaar water in de grond). Voor Zuidelijk zand lieten de metingen dit niet zien.
- Wat betreft de bodemstructuur zien we een trend van een wat hogere indringingsweerstand voor percelen met oud grasland, maar ook een trend van een lager percentage scherpblokkige bodemelementen. Dit zou kunnen duiden op een vastere, maar minder compacte bodem.
- We zien een hogere N-totaal in bodems onder oud grasland.
- Ten slotte zien we een trend van een hogere PMN voor bodems met oud grasland. Dit is een maat voor de activiteit van het bodemleven, en kan dus op meer bodemleven activiteit duiden.

Korte discussie

De huidige dataset is een subset van de data gebruikt bij de uitgebreide analyse naar effecten van *leeftijd van grasland verhogen* op koolstof in Koopmans *et al.* (2020). Daar zagen we een duidelijke toename in organische stof en koolstof op klei, maar niet op zand. We zien dit verschil tussen bodemtypen terug in de huidige analyse, maar niet in het significantie door de kleinere aantallen monsters.

Bij de metingen op jong en oud grasland gaat het om praktijkpercelen. Daarom kunnen we hier niet met 100% zekerheid zeggen of de verschillen het gevolg zijn van de hogere leeftijd van het grasland, of dat deze zijn veroorzaakt door een verschil in uitgangssituatie van de percelen. Wat we wel zien is dat veel van de verschillen in overeenstemming zijn met de effecten die we van het uitstel van scheuren van grasland verwachten. Zo zien we een trend van een hoger organische stofgehalte en een significant hogere HWC op percelen met oud grasland. De beperkte dataset laat echter geen verschil tussen bodemtypes zien. Ook gaat de leeftijd van grasland gepaard met een lagere bulkdichtheid van de bodem en met meer totaal stikstof. Eigenlijk vergelijkbare effecten zoals we die zien bij de maatregel verbeteren gewasrotatie in de akkerbouw. Opvallend is de toename in watervasthoudend vermogen op klei maar niet op zand. De verschillen in bodemleven lijken aanzienlijk (25-30%), maar zijn niet significant verschillend. Dit kan worden verklaard door het feit dat grasland in de algemene zin een beter bodemleven kent dan bijvoorbeeld akkerland.

Tabel 4.7 Zuidelijk zand en Noordelijke klei. Effect van leeftijd grasland verhogen (oud grasland) t.o.v. jong grasland (referentie). Een asterisk (*) betekent een trend met $P < 0,01$, ** is een significant verschil met $P < 0,05$. Zie tabel 3.2 voor de betekenis van de afkortingen. Verschillende letters (a en b-tjes) geven significante verschillen aan tussen de behandelingen.

Categorie	Meting	Eenheid	Zuidelijk zand		Noordelijke klei		Overall gemiddelde		Effect
			Jong grasland	Oud grasland	Jong grasland	Oud grasland	Jong grasland	Oud grasland	
Organische stof	C-ele	%	2,1	1,9	3,2	3,5	2,6	3,0	
	OS-gloei	%	3,5	3,7	6,2	6,8	4,6	5,4	*
	OS - N	%	3,3	3,5	5,8	6,2	4,3	4,9	
	HWC	mg kg ⁻¹	967	1058	2059	2632	1404 a	1958 b	**
Fysisch	Klei	%	6	3	37	37	18	22	
	Indr Max	MPa	3,7	4,3	1,3	1,1	2,7	2,5	
	Indr gem	MPa	1,5	2,3	0,9	0,8	1,3	1,4	*
	bd	kg m ⁻³	1378	1311	1310	1113	1351 b	1198 a	**
	WVV	%	19 a	17 a	20 a	28 b	19	23	**
	% Scherpb	%	23	12	35	20	28	16	*
	Beworteling	index 0-2	1,7	1,7	1,8	1,5	1,7	1,6	
Chemisch	pH-CaCl ₂		5,5	4,9	6,1	5,9	5,7	5,5	
	N-tot N	g N kg ⁻¹	1,58	1,69	3,45	3,86	2,33 a	2,93 b	**
	N-tot K	g N kg ⁻¹	1,67	1,67	3,85	4,21	2,54	3,12	*
	N-min	kg ha ⁻¹	13,8	10,8	15,1	12,4	14,3	11,7	
	P-PAE	mg P kg ⁻¹	4,2	2,4	0,6	0,5	2,8	1,3	
	Pw	mg P ₂ O ₅ L ⁻¹	64,5	40,7	16,5	15,3	45,3	26,1	
	PAL	mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹	66,0	45,0	19,3	16,3	47,3	28,6	
	K-PAE	mg K kg ⁻¹	102,7	65,3	91,8	107,0	98,3	89,1	
	K-voor N	mmol+ K kg ⁻¹	2,8	1,9	10,4	12,0	5,8	7,7	
Biologisch	PMN N	mg N kg ⁻¹	46,7	60,7	99,3	108,0	67,7	87,7	*
	Microb biom	mg C kg ⁻¹	384,5	411,3	770,5	861,3	538,9	668,4	
	Bact Biom	mg C kg ⁻¹	164,2	195,7	389,8	412,5	254,4	319,6	
	Schim biom	mg C kg ⁻¹	115,5	133,7	249,5	279,0	169,1	216,2	

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Bodemkwaliteitseffecten van maatregelen om koolstof vast te leggen

In algemene zin zien we een aantal correlaties tussen de indicatoren: een toename in bodemkoolstof die min of meer significant is voor de verschillende maatregelen gaat over het algemeen gepaard met een sterkere, meer significante toename in de HWC. De HWC wordt wel gezien als een maat voor de activiteit van het bodemleven en als een soort “early indicator” die aangeeft dat er processen in de bodem veranderen. Dit zien we terug in de huidige resultaten: de HWC lijkt een duidelijkere, beter meetbare verandering te tonen dan de metingen aan bodemkoolstof of bodemorganische stof. De HWC zou mogelijk bij de monitoring van koolstofopbouw ingezet kunnen worden om veranderingen te meten die nog niet tot uiting komen in de metingen van de totale hoeveelheid koolstof. Echter, analyse van de HWC in de totale Slim Landgebruik dataset van de verschillende jaren en experimenten is gewenst om dit met meer zekerheid te kunnen stellen.

De metingen aan het bodemleven vertonen eveneens een positieve trend met een toename in organische stof, maar die is minder sterk. Mogelijk kan dit ook met de meetnauwkeurigheid te maken hebben. Verder zien we dat een toename in de bodemkoolstof gepaard gaat met een afname van de bulkdichtheid. Dit is bekend uit de literatuur en is naar verwachting. Tenslotte zien we een toename in totaal stikstof. Dit lijkt te relateren aan het stikstofgehalte van de organische stof.

Per maatregel zijn er ook nog andere verschillen. Deze worden uitgebreid beschreven in hoofdstuk 4. Tabel 5.1 geeft een samenvatting van de gevonden resultaten. Over het algemeen kan worden geconcludeerd dat de effecten van klimaatmaatregelen op bodemkwaliteit neutraal of positief zijn. Bij geen van de maatregelen is een significant negatief effect op bodemkwaliteit gemeten. Hierdoor kan de voorzichtige conclusie worden getrokken dat klimaatmaatregelen positief of neutraal mee-koppelen met verschillende thema's uit het Nationaal Programma Landbouwbodems. Hiermee wordt bijgedragen aan de doelstelling om in 2030 alle Nederlandse landbouwbodems duurzaam te beheren.

5.2 De BLN-indicatoren set

In deze studie zijn aan de hand van geselecteerde BLN-indicatoren verschillen in bodemkwaliteit als gevolg van maatregelen om koolstof vast te leggen in beeld gebracht. Voor het onderzoek is gekeken naar een brede range aan zand- en kleigronden in Nederland en type behandelingen, in zowel de akkerbouw als veehouderij. Hiervoor is gebruik gemaakt van verschillende lange termijn experimenten met ieder hun eigen opzet.

De gebruikte set van indicatoren gaf daarbij een behoorlijk compleet beeld van de effecten van maatregelen op de bodemkwaliteit in de verschillende proeven. Echter zijn er ook een aantal aanbevelingen om het resultaat uit dergelijke studies in de toekomst te verbeteren:

Ten eerste is de bodem een erg heterogeen systeem, in zowel de ruimte als in de tijd. Denk aan variatie van bodemeigenschappen binnen een perceel. Bodemprocessen die worden aangedreven door temperatuur en vochtbeschikbaarheid zijn erg seizoen afhankelijk. Daarnaast kan het type gewas dat op het land staat, of net heeft gestaan, ook invloed hebben op sommige bodemindicatoren. Om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van het effect op de bodemkwaliteit zijn voor deze studie de metingen in herhaling genomen. Hiermee neemt de onzekerheid van het effect af. Gemiddeld genomen is voor deze studie in 4 herhalingen gemeten. Bij voorkeur zou dit aantal hoger liggen

om zo een nog beter beeld te krijgen van het effect en de zekerheid van dit effect te vergroten. Helaas bieden de LTE's niet het gewenste hogere aantal herhalingen.

Tabel 5.1. Samenvatting van effecten van koolstofmaatregelen op de BLN-indicatoren. Let op, de verschillen tussen grondsoorten, LTE's en exacte varianten van de koolstofmaatregelen zijn in deze tabel niet opgenomen en staan in meer detail gepresenteerd in hoofdstuk 4.

Maatregel	Significante effect op indicator
Niet-kerende grondbewerking	Indringingsweerstand max Indringingsweerstand gemiddeld Bulk dichtheid Watervasthoudend vermogen pH-CaCl ₂ K-beschikbaar
Verbeteren gewasrotatie	Heetwater extraheerbare koolstof (HWC) Indringingsweerstand gemiddeld Bulk dichtheid N-totaal (NIRS) Potentieel mineraliseerbare stikstof Bacteriële biomassa
Compost en dierlijke mest toevoegen	C-elementair Organische stof - gloeiverlies Organische stof - NIRS Heetwater extraheerbare koolstof (HWC) Klei Bulk dichtheid Watervasthoudend vermogen N- totaal (NIRS) N-totaal (Kjeldahl) P-voorraad K-beschikbaar K-voorraad Microbiële biomassa Bacteriële biomassa
Leeftijd grasland verhogen	Heetwater extraheerbare koolstof (HWC) Bulk dichtheid Watervasthoudend vermogen N-totaal (NIRS)

Het tweede verbeterpunt heeft betrekking op referentiewaarden van de gemeten indicatoren. De set van bodemindicatoren is behoorlijk breed en compleet. Juist hierom zouden ranges van veel voorkomende waarden per grondsoort nuttig kunnen zijn. Dit maakt de interpretatie van de gegevens eenvoudiger. De set van indicatoren die verzameld wordt binnen dit project kan hiervoor een opmaat vormen bij een eventuele vervolgstudie.

Een derde verbeterpunt is de metingen aan de bodemstructuur. De bodemstructuur wordt nu in beeld gebracht middels de bulkdichtheid, de indringingsweerstand en visuele waarnemingen in de bodemscan (via een profielkuil). Daarmee

ontbreken kwantitatieve gegevens over het aantal en de grootte van poriën en over aggregaatvorming (kruimels) welke mogelijk meer inzicht geven over de kwaliteit van de bodemstructuur. In het geval van verschillen kan met de huidige meetset niet altijd een uitspraak worden gedaan of dit positief of negatief is. De gemeten parameters geven duidelijke resultaten indien er sprake is van een groot probleem, zoals sterke compactie van een bodemlaag (bv. een ploegzool). Maar juist indien dit niet het geval is zijn verschillen in de bodemstructuur ook interessant. Zo zien we trends bij verandering in grondbewerking, maar of die negatief of positief zijn blijft onduidelijk. Immers, hogere dichtheid en indringingsweerstand in de middenrange duidt op minder recente bewerkingen, maar hoeft helemaal niet slecht te zijn.

Tot slot zijn een aantal van de toegepaste meetmethoden uit de BLN nog niet volledig wetenschappelijk onderbouwd en gevalideerd, zoals een aantal indicatoren gemeten met de NIRS-methode. Vooral bij de microbiële indicatoren lijkt de NIRS-methode nog onvoldoende gevalideerd en vinden we hier soms niet verklaarbare resultaten. Ook is de nauwkeurigheid van sommige meetmethoden onduidelijk. Het valt buiten de scope van deze rapportage om een uitgebreide vergelijkende analyse van de meetmethoden uit te voeren. Maar, de resultaten van de metingen die hier gerapporteerd zijn kunnen verder meegenomen worden bij de evaluatie van de BLN-indicatoren set.

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. Hanegraaf 2019 BLN

Hoek, J., van Balen, D., Haagsma, W., van den Berg, W., van Asperen, P., Sukkel, W., de Haan, J., Bloem, J. (2019). *Bodemindicatoren in BASIS: Identificatie van de belangrijkste biologische en chemische bodemparameters ("bodemindicatoren") in het project BASIS over de periode 2009-2016*. Wageningen University & Research <https://doi.org/10.18174/511496>

Koopmans, C.J., en Bloem, J., (2018). Soil quality effects of compost and manure in arable crop-ping - Results from using soil improvers for 17 years in the MAC trial. Louis Bolk Instituut, Publication no. 2018-001 LbP, 40 pp.

Koopmans, C.J., Timmermans, B., Wagenaar, J.P., van 't Hull, J.P., Hanegraaf, M.C., de Haan, J.J., (2019). *Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof: Resultaten uit Lange Termijn Experimenten (LTE's)*. Louis Bolk Instituut en Wageningen Research, 54 p.

Koopmans, C.J., Timmermans, B., Wagenaar, J.P., van 't Hull, J., Hanegraaf, M.C, en de Haan, J.J. (2019). *Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof: Bijlagen*. Louis Bolk Instituut en Wageningen Research, 54 p.

Koopmans, C., 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.

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.

Schouten, T., Bloem, J., de Goede, R., van Eekeren, N., Deru, J., Zanen, M., Sukkel, W., van Balen, D., Korthals, K., en Rutgers, M., (2018). *Niet-kerende grondbewerking goed voor de bodembiodiversiteit? - Veldexperimenten uitgelicht*. Bodem nr. 3 juni 2018, p.20-23.

Bijlage 1. LTE Proefopzet beschrijvingen

De hieronder weergegeven proefopzet beschrijvingen zijn eerder gepubliceerd in Koopmans *et al* 2020.

Akkerbouw

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

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

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

Niet-kerende grondbewerking op Vlaamse kleigrond

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

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

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

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

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

In dit experiment is in 2018 ook gemeten, maar werden geen significante verschillen gevonden. Dit kan een jaareffect zijn of samenhangen met het type gewas in het jaar van bemonstering. Hierom is besloten de metingen te herhalen. Voor kerende grondbewerking is geploegd op 20 cm met ondergronders tot 30 cm diepte en voor NKG is gewoeld op 30 cm diepte en gecultiveerd op 15 cm. Voor de standaard bemesting wordt gebruik gemaakt van drijfmest (zowel varkensdrijfmest als runderdrijfmest), aangevuld met kunstmest. Bij de bemesting met lage aanvoer van dierlijke mest wordt gebruik gemaakt van kunstmest, mineralenconcentraat en spuiwater. De bemesting wordt afgestemd op het gewas en wordt in principe zodanig toegediend dat de hoeveelheid mineraal stikstof voor beide behandelingen gelijk is. In totaal zijn er 8 verschillende behandelingen, die op verschillende manieren onderling vergeleken kunnen worden. Voor de analyse in deze rapportage is alleen gekeken naar het effect van grondbewerking. De behandelingen met

standaard of weinig organische stof en erwt of prei zijn per grondbewerking bij elkaar gevoegd. Dit resulteerde in 16 herhalingen per type grondbewerking.

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

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

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

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

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

Zeeland:

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

Flevoland:

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

Brabant:

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

Compost op centrale klei (Lelystad WUR - Flevoland)

Twee experimenten op de Broekemahoeve in Lelystad zijn bemeten waarin de effecten van toediening van compost worden onderzocht. In het eerste experiment wordt bemest met groencompost, en in het tweede experiment met maaimeststoffen. Het experiment met groencompost heeft als startjaar 2011 en ligt in een gangbare gewasrotatie met zomergerst, zaaiui of doperwt, pootaardappelen en suikerbieten. Het lutumgehalte van deze bodem is 12%. Op een perceel waar in 2019 doperwten hebben gestaan, worden 3 behandelingen met elkaar vergeleken: bemesting met 20 ton/ha groencompost, bemesting met 40 ton/ha groencompost, en een standaardbehandeling zonder bemesting met compost. Alle percelen krijgen eenzelfde stikstofbemesting met kunstmest. Dit wordt jaarlijks toegepast.

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

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

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

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

In het proefveld 'Mest als Kans', gelegen op een biologisch bebouwd perceel in Lelystad, worden sinds 1999 dertien verschillende bemestingsstrategieën met elkaar vergeleken. De hoeveelheden blijven binnen de wettelijke bemestingsnormen. Afhankelijk van het soort bemesting is daarmee ófwel de stikstof limiterend, ófwel het fosfaat, ófwel de hoeveelheid droge stof. In onderstaande tabel staat per mestsoort aangegeven wat de beperkende factor is, en de gemiddelde hoeveelheid aangevoerde organisch materiaal (over de periode 1999-2016). Het perceel draait mee in de vruchtwisseling van het bedrijf. De afgelopen 5 jaar is er suikermais, pastinaak, zomergerst, en zoete aardappel verbouwd, met gerst of rogge als groenbemester. De bodem is een zavelgrond met een lutumgehalte van 6% en wordt vrij intensief bewerkt.

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

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

**Hiervan zijn slechts 3 herhalingen beschikbaar i.v.m. verongelukken monster in het laboratorium

Bijlage 2. Toelichting op de gemeten (BLN) indicatoren

Organische stof

Koolstof gehalte (C-ele)

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

Organische stofgehalte

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

Hot Water extractable Carbon (HWC)

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

Chemisch

pH

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

Stikstof (N)

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

Fosfaat (P)

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

Kalium (K)

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

Biologisch

Potentieel mineraliseerbare N (PMN)

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

Microbiële biomassa

Het microbiële bodemleven is bepalend voor de snelheid waarmee processen zich in de bodem kunnen voltrekken. Zo is de afbraak van organische stof afhankelijk van dit bodemleven. Er is nog veel onbekend over de exacte werking van

het bodemleven en voedselweb. De microbiële biomassa volgens NIRS in een snelle en goedkope analyse voor een overall indicatie van het bodemleven.

Bacteriebiomassa

Bacteriën zijn belangrijke afbrekers van organische stof, en vormen de basis van het bodemvoedselweb. De hoeveelheid en activiteit van bacteriën wordt bevorderd door organische stof in de bodem. De bacteriële biomassa is volgens NIRS gemeten en correleert met klassieke meting volgens microscopie.

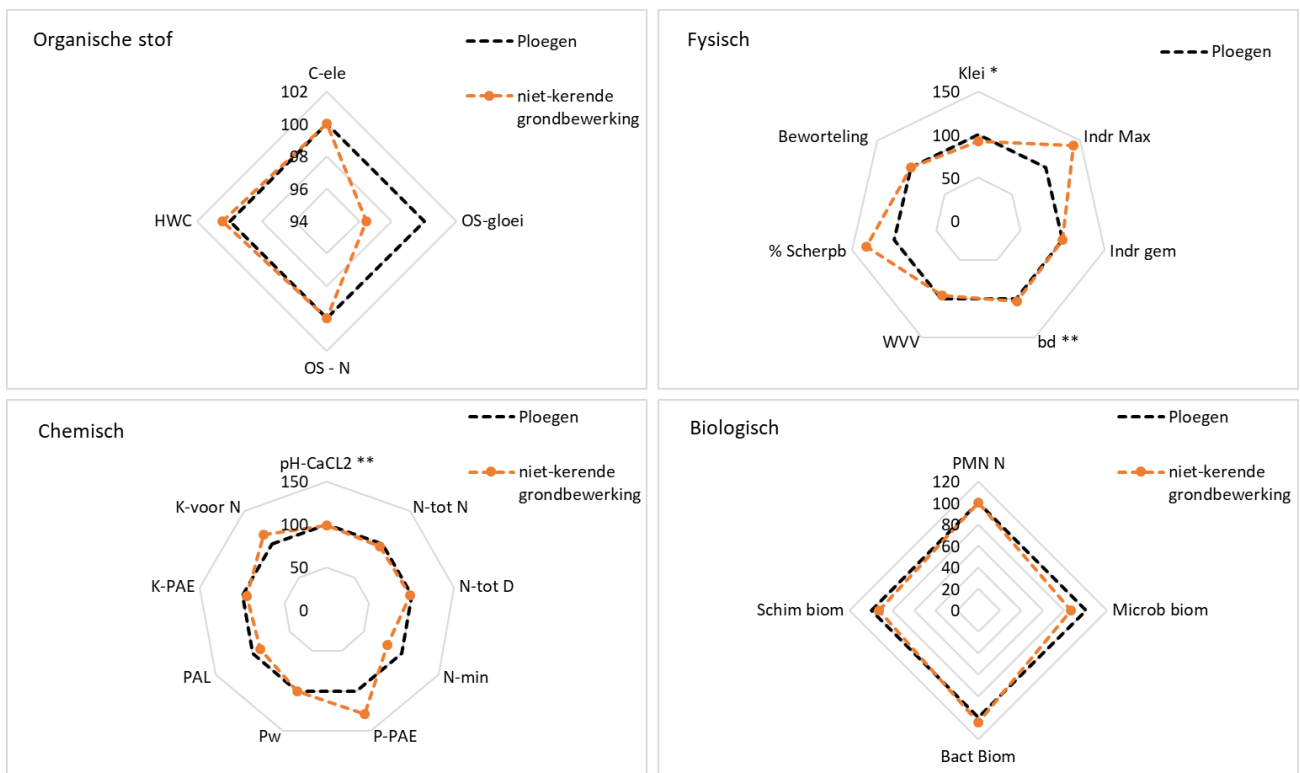
Schimmelbiomassa

Schimmels vormen samen met bacteriële 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 volgens microscopie.

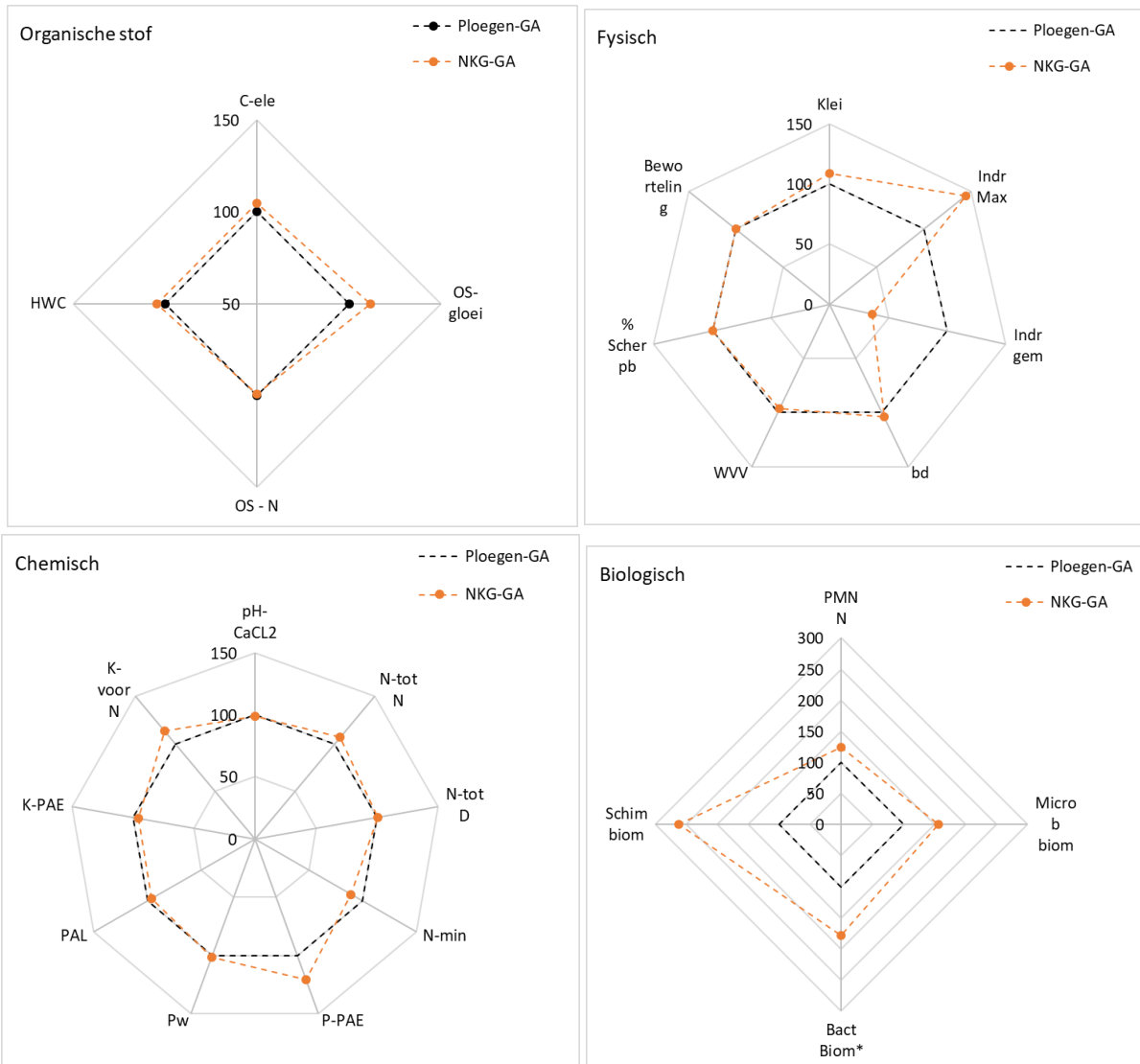
Bijlage 3. Analyseresultaten maatregelen akkerbouw

De resultaten van de verschillende LTE's kunnen ook worden gepresenteerd in zogenaamde amoebediagrammen (ook wel spinnenwebdiagram genoemd). Per LTE zijn vier amoebediagrammen gemaakt, één voor elke categorie van de indicatoren (organische stof, fysisch, chemisch, biologisch). Hierin is de referentiemaatregel - vaak de meest gangbare maatregel - op 100% gezet (zwarte stippellijn). Het effect van de overige maatregel(en) is uitgedrukt als percentage verandering ten opzichte van de referentie. De percentages zijn de gemiddelde waardes van 2 tot 4 herhalingen, afhankelijk van de LTE. Een asterisk naast de naam van de indicator geeft een trend ($P < 0,1$; *) of een statistisch significant verschil aan ($P < 0,05$; **). Let hierbij op dat sommige maatregelen een groot verschil met de referentie lijken te veroorzaken, maar dat deze niet altijd statistisch significant zijn. Dit kan komen door grote variantie binnen de herhalingen.

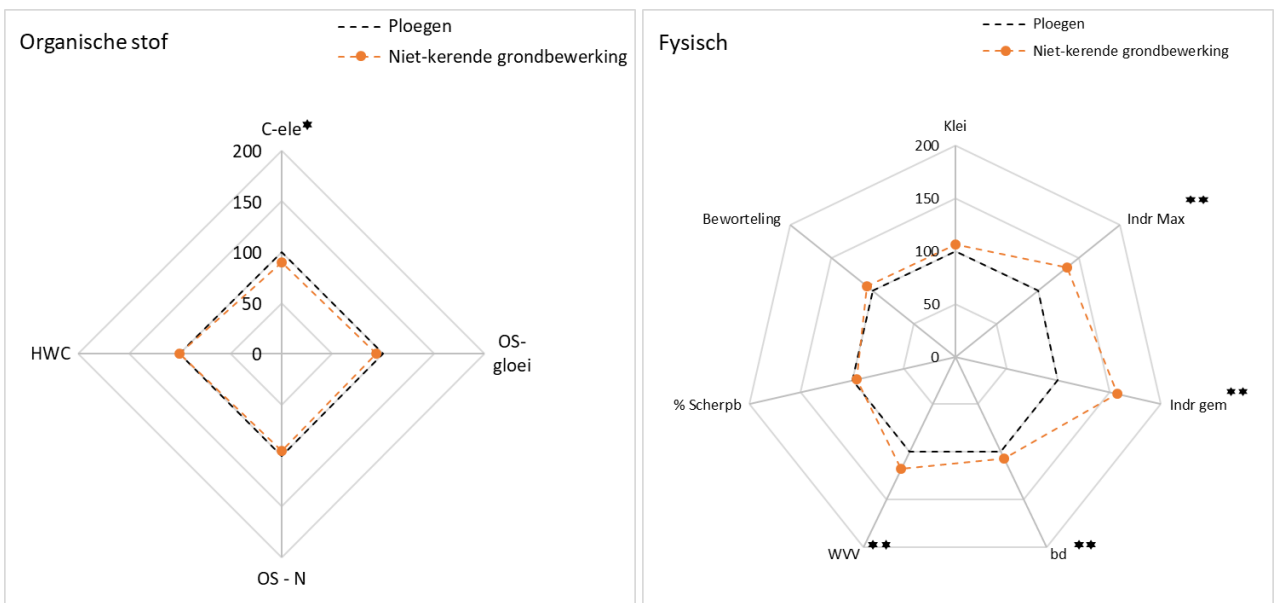
B3.1 Niet-kerende grondbewerking

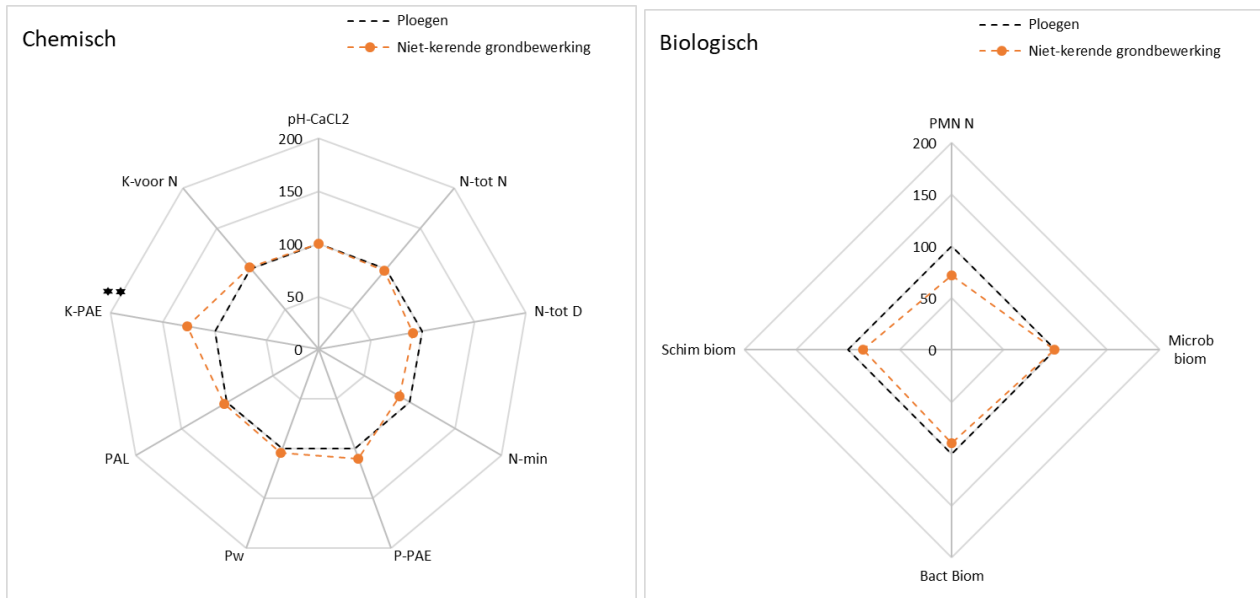


Figuur 4.1. LTE Rumbeke-Beitem, Vlaanderen (BE), kleigrond. Effect van niet-kerende grondbewerking t.o.v. ploegen (referentie). Een asterisk (*) betekent een trend met $P < 0,01$, ** is een significant verschil met $P < 0,05$. Zie tabel 3.2 voor de betekenis van de afkortingen.



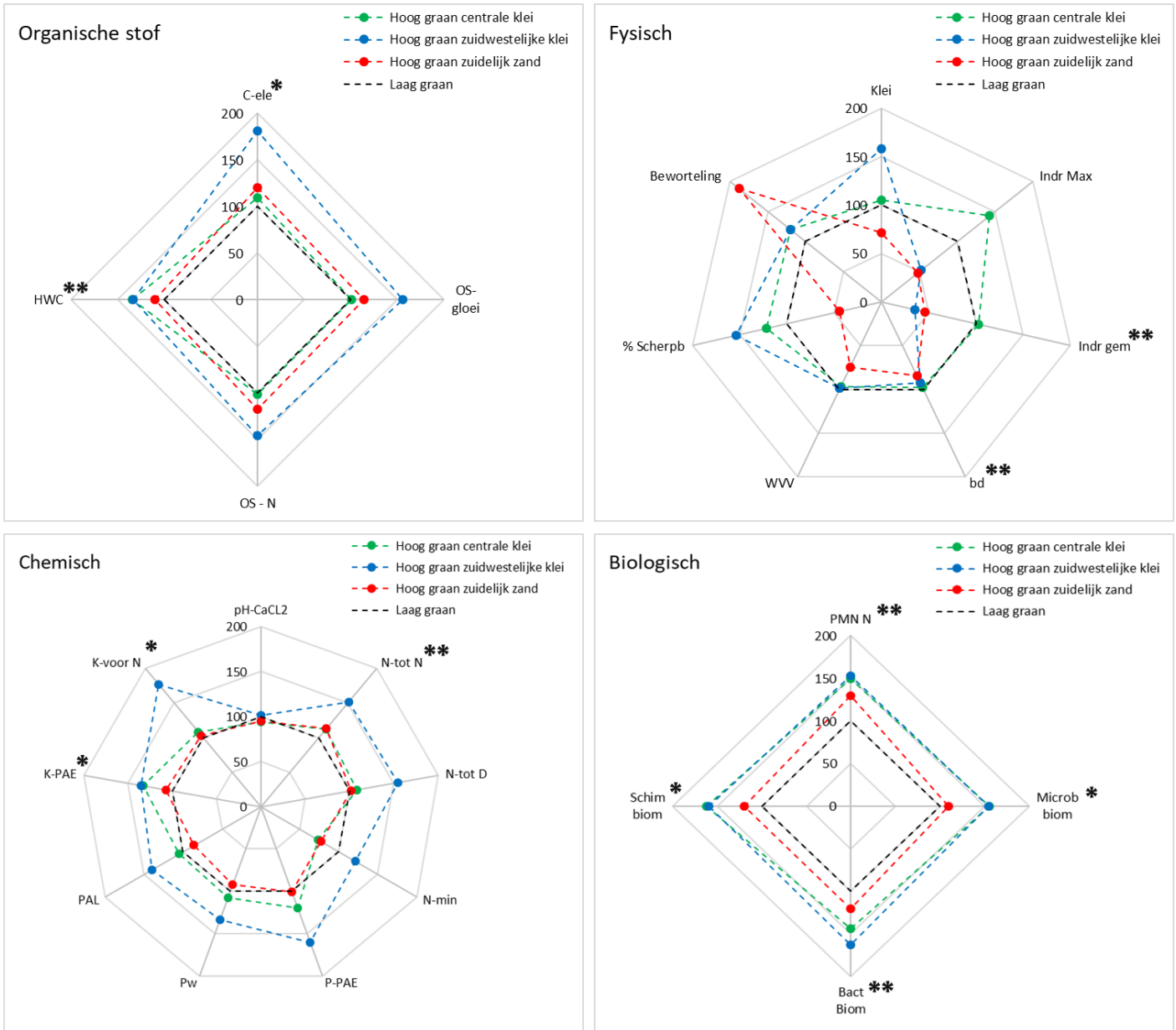
Figuur 4.2. LTE Lelystad WUR – Flevoland, kleigrond. Effect van niet-kerende grondbewerking t.o.v. ploegen (referentie). Een asterisk (*) betekent een trend met $P < 0,01$, ** is een significant verschil met $P < 0,05$. Zie tabel 3.2 voor de betekenis van de afkortingen.





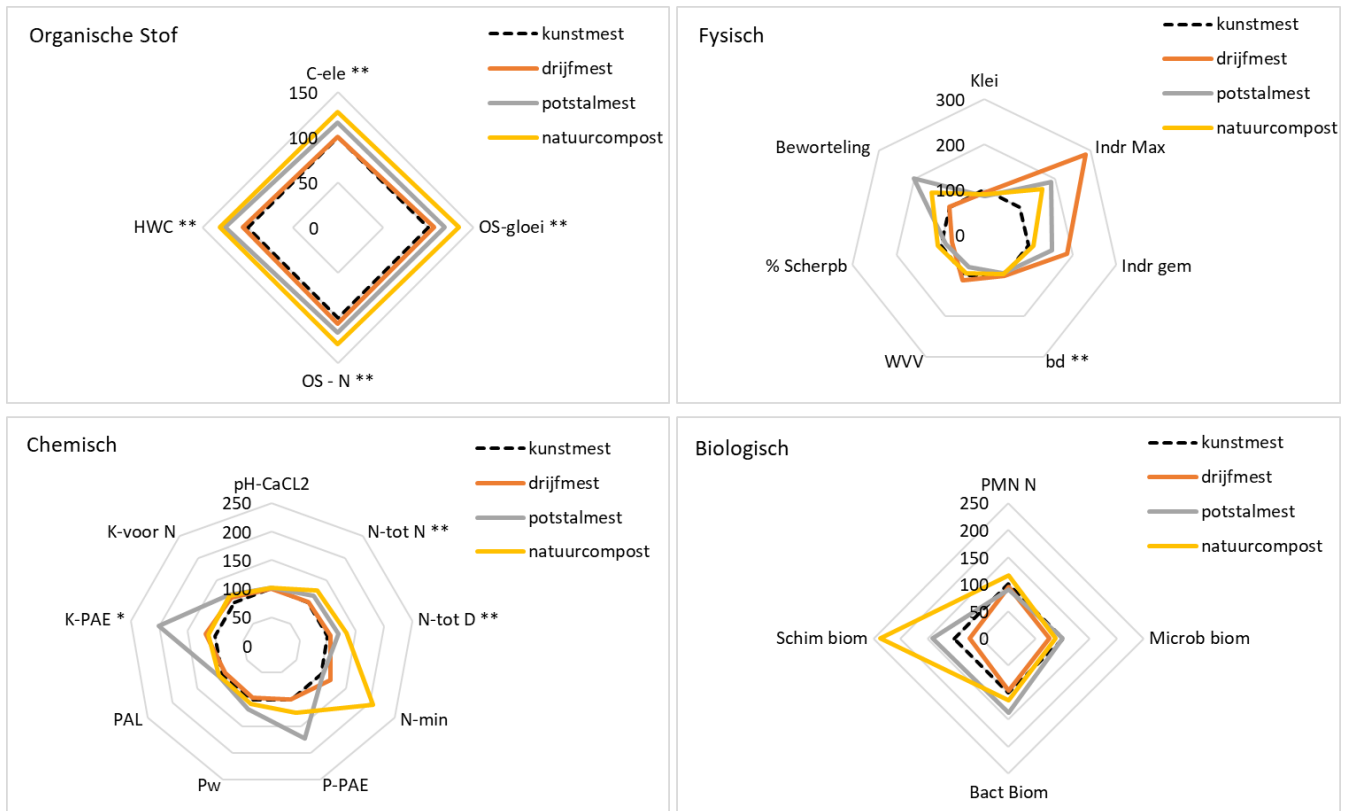
Figuur 4.3. LTE Vredepeel – Limburg, zandgrond. Effect van niet-kerende grondbewerking t.o.v. ploegen (referentie). Een asterisk (*) betekent een trend met $P < 0,01$, ** is een significant verschil met $P < 0,05$. Zie tabel 3.2 voor de betekenis van de afkortingen.

B3.2 Verbeteren gewasrotatie

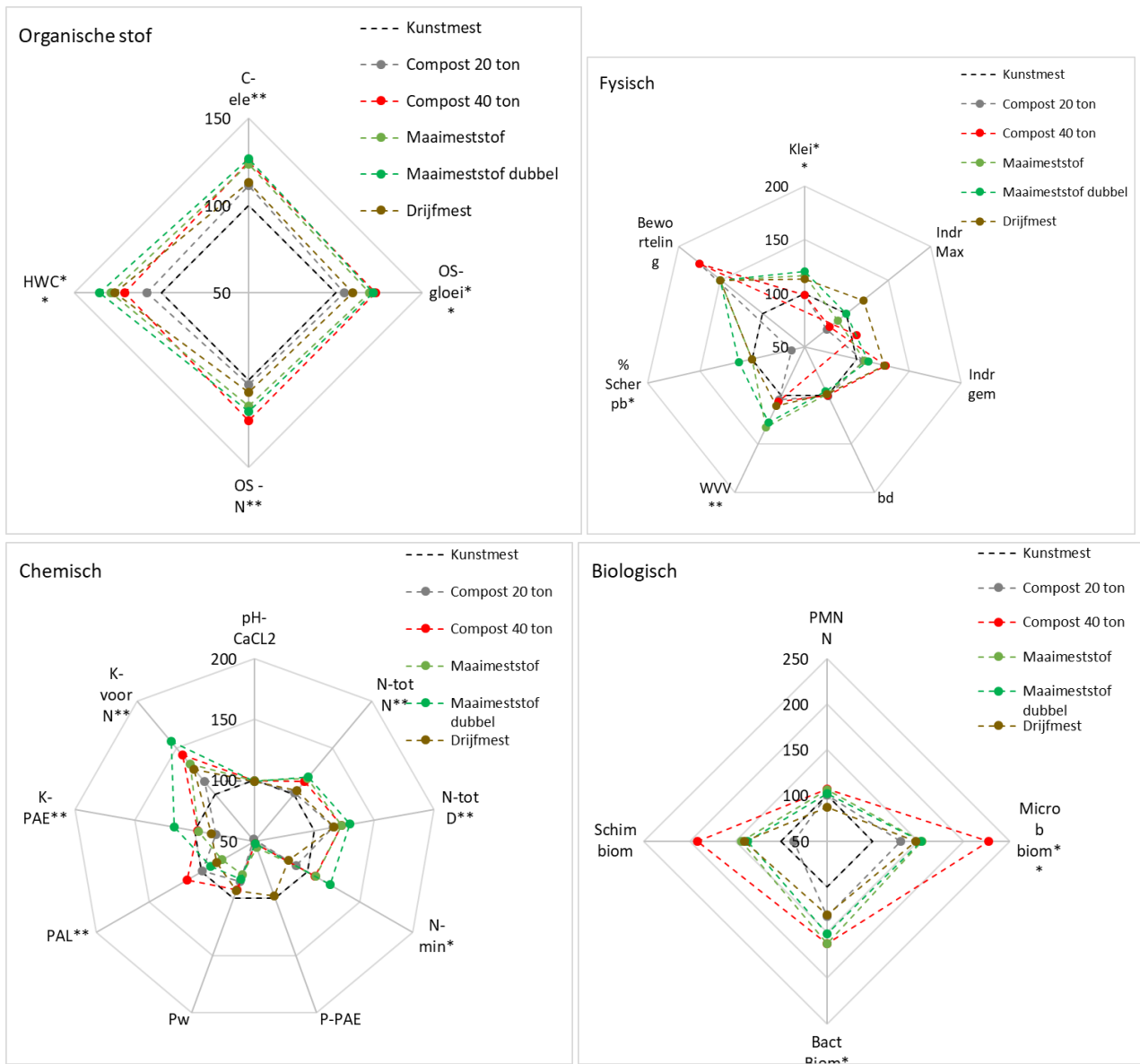


Figuur 4.4. LTE-metingen op praktijkpercelen met veel en weinig graan in de rotatie. Verschillende bodemtypen aangegeven door de verschillende kleuren. Zwart is steeds de referentie met weinig graan. Een asterisk (*) betekent een trend met $P < 0,01$, ** is een significant verschil met $P < 0,05$.

B3.3 Compost toevoegen en dierlijke mest toevoegen

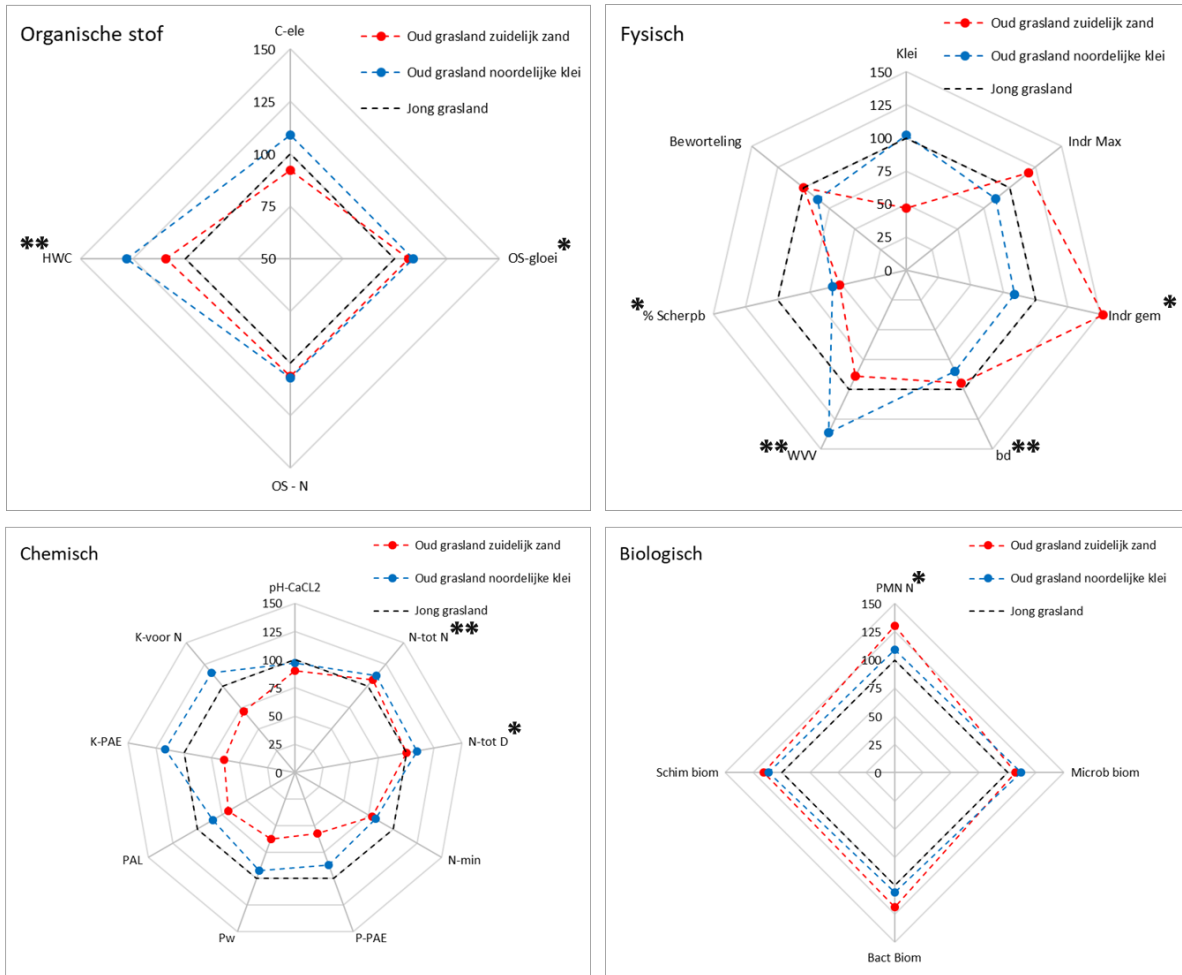


Figuur 4.5. LTE Lelystad LBI, Flevoland, kleigrond. Effect van verschillende soorten organische bemesting t.o.v. kunstmest (referentie). Een asterisk (*) betekent een trend met $P < 0,01$, ** is een significant verschil met $P < 0,05$.



Figuur 4.6. LTE Lelystad WUR, Flevoland, kleigrond. Effect van verschillende soorten organische bemesting t.o.v. kunstmest (referentie). Een asterisk (*) betekent een trend met $P < 0,01$, ** is een significant verschil met $P < 0,05$.

Bijlage 4 Analyse resultaten maatregelen veehouderij



Figuur 4.7. LTE-metingen op praktijkpercelen met grasland van verschillende leeftijden, in regio's en op bedrijven met vergelijkbare bodemtypen. Verschillende bodemtypen aangegeven door de verschillende kleuren. Zwart is steeds de referentie (jong grasland). Een asterisk (*) betekent een trend met $P < 0,01$, ** is een significant verschil met $P < 0,05$.