

nutriënten management instituut nmi bv

Rapport 1

Effect meerjarige toepassing groenbemester en organische mest op bodemkwaliteit bij continueelt maïs 2^e rapport project Zorg voor Zand



September 2006





Colofon

Uitgever

Animal Sciences Group
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.po.asg@wur.nl
Internet <http://www.asg.wur.nl/po>

Redactie en fotografie Communication Services

Aansprakelijkheid

Animal Sciences Group aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen

Losse rapporten zijn te verkrijgen via de website.

Abstract

In 2005 research was conducted on the effect of long-term application of cover crops and organic manure on various soil quality characteristics in a continuous maize production system on sandy soil. The conclusion was that the effect of organic fertiliser on the quality of the soil and yield was somewhat larger than of green manure. The biological activity was hardly influenced by both treatments.

Keywords: Soil quality, sandy soil, organic manure, cover crops, continuous production, silage maize

Referaat

ISSN 1570-8616

Schooten, H.A. van (ASG), Eekeren, N. van (LBI), Hanegraaf, M.C. (NMI), Burgt, G.J. van den (LBI) en Visser, M. de (ASG)

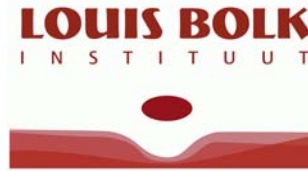
Zorg voor zand. Effect meerjarige toepassing groenbemester en organische bemesting op bodemkwaliteit bij continueelt snijmaïs (2006)
Rapportnummer 01
32 pagina's, 7 figuren, 23 tabellen

In 2005 is onderzoek gedaan naar het effect van meerjarige toepassing van groenbemester en organische bemesting op diverse bodemkwaliteitskenmerken bij continueelt van snijmaïs op zandgrond. De conclusie is dat het effect op de bodemkwaliteit en gewasopbrengst van organische bemesting wat groter was dan van groenbemester. De biologische activiteit werd nauwelijks beïnvloed door beide behandelingen.

Trefwoorden: bodemkwaliteit, zandgrond, organische mest, groenbemester, continueelt, snijmaïs



ANIMAL SCIENCES GROUP
WAGENINGEN UR



nutriënten management instituut nmi bv

Rapport 1

Effect meerjarige toepassing groen-
bemester en organische mest op
bodemkwaliteit bij continueelt maïs
2e rapport project Zorg voor Zand

Effect of long-term application of cover
crops and organic manure on soil quality
in a continuous maize production system
2nd report project Care for Sand

H.A. van Schooten (ASG)
N. van Eekeren (LBI)
M.C. Hanegraaf (NMI)
G.J. van der Burgt (LBI)
M. de Visser (ASG)

September 2006

Voorwoord

Bodemkwaliteit staat momenteel sterk in de belangstelling. Dit is vooral een gevolg van recente wijzigingen in het mestbeleid. Door de dalende mestgiften wordt het steeds belangrijker om de natuurlijke bodemvruchtbaarheid op peil te houden. Bodemkwaliteit is een complex begrip waarop vele factoren van invloed zijn. Het is dan ook niet mogelijk om bodemkwaliteit te optimaliseren met één bepaalde handeling. Bovendien zijn effecten veelal pas op de lange termijn zichtbaar. Dit onderzoek bood de gelegenheid om in een bestaande veldproef met snijmaïs op Aver Heino de effecten van meerjarige toepassingen van organische bemesting en groenbemesters op diverse bodemparameters te bestuderen.

Het onderzoek is uitgevoerd door de Animal Sciences Group (ASG) van Wageningen UR, het Louis Bolk Instituut (LBI) en het Nutriënten Management Instituut (NMI). In het onderzoek is samengewerkt met het BoBi-project. Het doel van dit project is inzicht te krijgen in effecten van bodemtype en bedrijfsvoering op diversiteit en functioneren van het bodemleven en mineralisatieprocessen en het ontwikkelen van biologische indicatoren voor bodemkwaliteit. De bodemweerstand is bepaald door Ton Schouten van het RIVM en Jaap Bloem van Alterra heeft microbiologische bepalingen uitgevoerd.

Het onderzoek is gefinancierd door het Productschap Zuivel en is uitgevoerd binnen het project Zorg voor Zand. In dit project wordt in drie modules gewerkt aan indicatoren voor bodemkwaliteit, organische stof dynamiek en praktijkmaatregelen voor melkveehouderij op zandgrond.

Agnes van den Pol-van Dasselaar
Clusterleider Rundveevoeding, Gewas en Bodem

Samenvatting

Daling van het organische stofgehalte bij continue teelt van snijmaïs op zandgrond kan men compenseren met organische bemesting en de teelt van groenbemesters. Naast het effect op het organische stofgehalte van organische bemesting en groenbemesters hebben beide maatregelen ook invloed op diverse andere bodemkwaliteitsparameters. Voor de teler van maïs is het van belang dat een betere bodemkwaliteit uiteindelijk leidt tot een betere nutriëntenbenutting van het gewas. In het onderzoek is daarom het effect van meerjarige toepassing van drijfmest, vaste mest en groenbemester op de bodemkwaliteitsparameters en op gewasopbrengst onderzocht. Daarnaast is gekeken of de ontwikkeling in organische stofgehalten van de objecten binnen deze proef voldoende nauwkeurig te voorspellen is door de bestaande rekenmodellen NDICEA en MINOS.

Bij de interpretatie van de conclusie moet er rekening mee worden gehouden dat het onderzoek is uitgevoerd op één specifieke zandgrond. De effecten van in verleden toegepaste bemestingsniveau en winterbeheer op gewasopbrengst zijn gemeten bij een bemestingsniveau van 40 m³ biologische runderdrijfmest per ha.

De aanvoer van effectieve organische stof uit mest (1300 kg/ha met 30-40 ton runderdrijfmest) was beduidend hoger dan de aanvoer uit de groenbemesters (300 tot 450 kg/ha). Deze hoeveelheden zijn zelfs bij een gecombineerde aanvoer op een zandgrond met een organische stofgehalte van 2,5-3% te weinig om de afbraak te compenseren.

De chemische bodemparameters werden vooral beïnvloed door het bemestingsniveau. De gehalten aan organische stof, de CEC-waarde, het kaligetal en het magnesiumgehalte waren ten opzichte van het laagste bemestingsniveau (geen mest) alleen hoger bij het hoogste bemestingsniveau (40-50 ton/ha). Bij het middelste bemestingsniveau (30-35 ton/ha) waren ook de gehalten C-totaal en HWC hoger dan het laagste bemestingsniveau. In tegenstelling tot de andere parameters was de P-AI van het laagste bemestingsniveau hoger dan van de beide andere niveaus. Alleen kali en magnesium werden ook beïnvloed door het winterbeheer, waarbij winterbraak de hoogste gehalten gaf. De verschillen waren praktisch gezien echter klein.

Algemeen was naast het gehalte aan organische stof ook het niveau van C-mineralisatie en N-mineralisatie laag. Het hoge bemestingsniveau had een positief effect op de C-mineralisatie en de N-mineralisatie. Winterbeheer met rogge had alleen een positief effect op de C-mineralisatie.

De fysische indicatoren werden met name beïnvloed door het winterbeheer. In tegenstelling tot de verwachting sprong de winterbraak er gemiddeld positief uit. Winterbraak resulteerde in vergelijking tot rogge in een lagere dichtheid, een lagere indringingsweerstand en een betere structuur.

De bodembioologische activiteit was gemiddeld laag. Het winterbeheer en bemestingsniveau veranderden daar maar weinig aan. Het gebruik van 5 jaar stalmest had een beperkte invloed op de bodemkwaliteit. Alleen de C-mineralisatie gemeten volgens de CO₂-Gaia methode was hoger vergeleken met drijfmesttoepassing. Het in het verleden toegepaste bemestingsniveau had een duidelijk effect op de maïsoopbrengst. Een effect van een groenbemester op de opbrengst kon alleen worden aangetoond bij de behandeling waarop in het verleden geen mest was toegediend.

Bij de fysische en biologische parameters (laag 0-10 cm) bestond een positieve correlatie tussen het organische stofgehalte, de veldrespiratie (CO₂-veld), de waterinfiltratiesnelheid en de potentiële stikstofmineralisatie. Van de chemische bodemparameters vertoonden het organische stofgehalte, de CEC bezetting en het HWC-gehalte een vrij sterke samenhang met de maïsoopbrengst. Daarnaast vertoonden van de fysische en biologische bodemparameters de veldrespiratie, de waterinfiltratiesnelheid, het N-totaal gehalte en de potentiële N-mineralisatie een vrij sterke samenhang met de maïsoopbrengst. Er kon geen uitspraak worden gedaan over de volgorde van belangrijkheid van de parameters op de gewasopbrengst, omdat de opzet van de proef zich daar niet voor leende.

Met de rekenmodellen kon een verandering in organische stofgehalte van de bodem worden berekend voordat dit in de meetwaarde tot uitdrukking kwam. In dit onderzoek kwamen de berekende waarden van het NDICEA model wat beter overeen met de gemeten waarden dan van het MINOS model. Zowel uit de metingen als uit de berekeningen met de modellen bleek dat de inzet van groenbemester (rogge) over een periode van 15 jaar bij een geschatte gemiddelde opbrengst van 1000-1500 kg drogestof per ha een beperkte bijdrage leverde aan het organische gehalte (0 - 0,2%). Organische stof uit groenbemesters draagt vooral bij lagere mestgiften bij aan het dempen van de daling van het organische stofgehalte.

Summary

Reduction of the organic matter content in a continuous maize production system on sandy soil can be compensated by organic manure and the production of cover crops. Besides the effect on the organic matter content of organic manure and cover crops, both measures also affect various other soil quality parameters. For the grower of maize it is important that a better soil quality eventually leads to improved nutrient utilisation of the crop. Therefore, this research was done on what the effect was of long-term application of slurry, solid manure and green manure on the soil quality parameters and crop production. Moreover, it was studied whether the development in organic matter contents of the objects within this experiment could be predicted sufficiently accurately by the existing computer models NDICEA and MINOS.

It should be taken into account, however, that the study was done on only one specific sandy soil. The effects of the manuring level previously applied and winter management on crop production were measured at a manuring level of 40 m³ of organic cattle slurry per ha.

The supply of effective organic matter from manure (1300 kg/ha with 30-40 tonnes of cattle slurry) was significantly higher than the supply from the green manures (300-450 kg/ha). Even at a combined supply these amounts are too small to compensate for the decomposition on sandy soil with an organic matter content of 2.5–3%.

The chemical soil parameters were mainly influenced by the manuring level. The contents of organic matter, the CEC-figure, the potassium and magnesium were only higher when manuring level was at its highest (40-50 tonnes/ha), if compared to the lowest level, which is no manure. With the middle level of manuring (30-50 tonnes/ha) also the contents of C-total and HCW were higher than with the lowest manuring level. Contrary to the other parameters, the P-AI with the lowest level of manuring was higher than with the other two levels. Only potassium and magnesium were also influenced by winter management, where winter fallow realised the highest contents. Practically speaking, however, the differences were small.

In general, besides the content of organic matter, also the levels of C-mineralisation and N-mineralisation were low. The high level of fertilisation had a positive effect on the C-mineralisation and N-mineralisation. Winter management with rye had only a positive effect on C-mineralisation.

The physical indicators were particularly influenced by the winter management. Unexpectedly, winter fallow was on average positive. Compared to rye, winter fallow showed lower density, lower penetration resistance and a better structure.

The biological activity of the soil was on average low. Winter management and the level of manuring did not change much. The use of 5 years of farmyard manure had a limited influence on the soil quality. Only the C-mineralisation measured according to the CO₂-Gaia method was higher, if compared to slurry application. The level of manuring applied previously had a clear effect on the maize yield. An effect of cover crop on the yield could only be demonstrated for the treatment in which no manure was applied previously.

For the physical and biological parameters (layer 0-10 cm), there was a positive correlation between the organic matter content, field respiration (CO₂-field), water infiltration rate and the potential nitrogen mineralisation. Of the chemical soil parameters, the organic matter content, the CEC-figure and the HWC-content showed a rather strong relationship with the maize yield. Moreover, of the physical and biological soil parameters, the field respiration, the water infiltration rate, the N-total content and the potential N-mineralisation showed a rather strong relationship with the maize yield. No judgement could be given on the order of importance as to the crop yield, since this experiment design was not suitable.

The computer models were able to compute a change in organic matter content of the soil, before this was expressed in the measured value.

In this study, the values computed by the NDICEA-model corresponded somewhat better with the values measured than those by the MINOS-model. From the measurements as well as from the computations with the models, it could be shown that using the cover crop (rye) over a period of 15 years with an estimated average yield of 1000-1500 kg of dry matter/ha contributed limitedly to the organic content (0-0.2%). Particularly at lower manure applications, organic matter from cover crops contributes to less reduction of the organic matter content.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Veldproef	2
2.1	Materiaal en methoden	2
2.2	Resultaten en discussie	6
2.2.1	Organische stofaanvoer van verschillende behandelingen	6
2.2.2	Effect op chemische bodemkwaliteit (0-25 cm).....	7
2.2.3	Effect op fysische en biologische bodemkwaliteit.....	10
2.2.4	Effect op gewasopbrengst en kwaliteit.....	14
2.2.5	Samenhang tussen behandelingen, bodemparameters en gewasopbrengst.....	15
3	Modellsimulatie en toetsing	18
3.1	NDICEA.....	18
3.2	MINOS	19
4	Conclusies	21
5	Praktijktoepassingen	23
	Referenties	24
	Bijlagen	26

1 Inleiding

Op zandgrond wordt snijmaïs hoofdzakelijk in continueelt verbouwd. Maïs in continueelt heeft echter een slechte reputatie als het gaat om bodemkwaliteit, vooral op lichte zandgronden. Het organische stofgehalte kan dalen waardoor na verloop van tijd de structuur verslechtert. Deze daling wordt veroorzaakt door de afbraak van organische stof in bouwland als gevolg van grondbewerkingen en braakperiodes. Om deze afbraak te compenseren met alleen organische mest is een zware bemesting nodig. Zware bemesting in de vorm van een hoge drijfmestgift (tot 80 ton/ha) is in het huidige en toekomstige mest- en mineralenbeleid niet meer acceptabel. In plaats van drijfmest kan men ook vaste mest toedienen. Vaste mest is een meststof waarmee relatief een grotere hoeveelheid organische stof wordt aangevoerd. Daarnaast kan ook deels in de organische stofbehoefte worden voorzien door het telen van een groenbemester. Uiteraard is een combinatie van een 'normale' organische bemesting met een groenbemester ook mogelijk (Hanegraaf et al., 2004). Er zijn echter nog onduidelijkheden over de lange termijn effecten op de bodemkwaliteit van verschillende hoeveelheden organische mest en het toepassen van groenbemesters in de winter.

Organische bemesting en groenbemesters hebben ook invloed op diverse andere bodemkwaliteitparameters. Voor de teler van maïs is het van belang dat een betere bodemkwaliteit uiteindelijk leidt tot een betere nutriëntenbenutting van het gewas. In dit onderzoek is daarom het effect van meerjarige toepassing van drijfmest, vaste mest en groenbemester op de bodemkwaliteitparameters en op gewasopbrengst onderzocht. Aanvullend is gekeken naar de samenhang tussen de bodemparameters onderling en tussen de bodemparameters en gewasopbrengst.

Het onderzoek is een vervolg van een meerjarige veldproef met maïs die in 1988 is gestart. Het oorspronkelijke doel van deze proef was het onderzoeken van winterbeheer en stikstofbemesting op stikstofkringloop en productie in snijmaïsteelt.

De behandelingen, de proefopzet en de duur van de proef waren aanleiding om deze proef te gebruiken in de module "Praktijkmaatregelen" van het project Zorg voor Zand. In dit meerjarige project wordt onderzocht hoe de bodemkwaliteit van zandgrond in stand gehouden of verbeterd kan worden. Een ander onderdeel van de module "Praktijkmaatregelen" is een veldonderzoek naar de effecten van meerjarige bemesting, met verschillende mestsoorten op verschillende niveaus, op de bodemvruchtbaarheid en grasopbrengst van blijvend grasland (De Boer et al., 2004).

Een nevenvraag van het onderzoek is of de ontwikkeling in organische stofgehalten van de objecten binnen de Berkendijkproef voldoende nauwkeurig te voorspellen is door bestaande rekenmodellen. Als de modellen in staat zijn om goede voorspellingen te doen van het organische stofgehalte van de bodem bij de verschillende vormen en combinaties van organische stofaanvoer in continueelt snijmaïs, kunnen deze modellen in andere activiteiten worden ingezet bij het doorrekenen van scenario's. Daarom zijn met de modellen NDICEA en MINOS een aantal scenarioberekeningen uitgevoerd en vervolgens vergeleken met de gemeten uitkomsten van het onderzoek.

2 Veldproef

2.1 Materiaal en methoden

Opzet

Om het effect van meerjarige toepassing van groenbemesters en verschillende hoeveelheden organische mest op de bodemkwaliteit te onderzoeken is gebruik gemaakt van een reeds bestaande meerjarenproef met continueelt van snijmais op Praktijkcentrum Aver Heino. Deze zogenaamde Berkendijkproef (perceel is gelegen aan de Berkendijk) is in 1988 van start gegaan op een veldpodzol met circa 3% organische stof in de bovenste 30 cm. Het doel was toen om de effecten van wintergewassen en bemestingsniveau op de uitspoeling en benutting van stikstof bij continueelt van snijmais te onderzoeken. Deze proef is met wat tussentijdse aanpassingen voortgezet tot en met 2004. Door de verschillende behandelingen zijn in de loop van de jaren verschillen in bodemkwaliteit ontstaan tussen de veldjes. Om deze verschillen in bodemkwaliteit te beoordelen zijn in voorjaar van 2005 verschillende bodemparameters onderzocht. Naast het effect op de bodemkwaliteit is ook gekeken naar de gewasopbrengst, door in 2005 alle veldjes een gelijke bemesting te geven. De verschillen in gewasopbrengst zijn op deze manier toe te schrijven aan de verschillen in bodemeigenschappen. We merken hierbij op dat er slechts 1 jaar is gemeten. Dit betekent dat er sprake is van een onbekende jaar/bodem interactie. Bovendien is de bodemvruchtbaarheid niet stabiel, omdat op de meeste veldjes de bemesting in 2005 sterk afwijkt van de voorafgaande meerjarige bemesting.



















Dit onderzoek moet dan ook beschouwd worden als hypothesevormend onderzoek, waarbij geen hypothese kan worden getoetst.


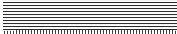

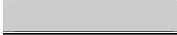
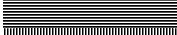


Historie veldproef

Hoofdfactor van de meerjarige veldproef vormden drie verschillende winterbehandelingen: braak, nateelt van winterrogge en tot en met 1994 onderzaai van Italiaans raaigras. Binnen de winterbehandeling werden vijf verschillende niveaus van stikstofbemesting onderzocht. De bemesting bestond daarbij uit een vaste hoeveelheid drijfmest aangevuld met verschillende hoeveelheden kunstmeststikstof. De opzet en resultaten van deze periode zijn beschreven in Schröder et al. (1992) en Van Dijk et al. (1995). De behandelingen lagen ieder jaar op dezelfde plaats. In de loop van de jaren zijn een aantal veranderingen doorgevoerd. Vanaf 1996 werden de verschillende bemestingsniveaus gevormd door verschillende drijfmestgiften in plaats van verschillende hoeveelheden stikstofkunstmest. Tenslotte is in 1999 binnen de winterbehandeling "grasonderzaai" de drijfmest vervangen door verschillende giften stalmest. Tevens werd de onderzaai van Italiaans raaigras vervangen door nateelt van rogge. De resultaten van de periode 1996 - 2002 zijn beschreven door Bruinenberg et al. (2004).

Het jaar 2003 was een tussenjaar. In dat jaar is op alle behandelingen drijfmest toegediend. Bij de drijfmestbehandelingen werd op de bemestingsniveaus N1 t/m N5 respectievelijk 0, 15, 30, 50 en 15 m³ per ha toegediend en op de stalmestbehandelingen respectievelijk 0, 15, 15, 30 en 30 ton per ha. Na de oogst is op alle behandelingen Italiaans raaigras ingezaaid. In tabel 1 zijn de veranderingen in de loop der jaren schematisch weergegeven. Zie voor meer gedetailleerde informatie over de historie van de behandelingen voor wat betreft winterbeheer en bemesting bijlage 1.

Tabel 1 Schematisch overzicht wijzigingen in hoofdfactor winterbehandeling

Winterbehandeling	1988-1995	1996-1998	1999-2002	2003	2004	2005
Braak						
Rogge						
Gras/stalmest						

	Stikstofniveaus door variatie in kunstmestgiften. Gelijke drijfmestgiften, alleen N1 geen drijfmest
	Stikstofniveaus door variatie in drijfmestgiften
	Drijfmest behandelingen vervangen door stalmest behandelingen Geen grasonderzaai meer, maar nazaai met Nitrafix
	Alle behandelingen runderdrijfmest met verschillende niveaus en nazaai met Italiaans raagrass
	Bemestingsniveaus door variatie in drijfmestgiften
	Bemestingsniveaus door variatie in stalmestgiften
	Gelijk bemestingsniveau voor alle behandelingen door gelijke runderdrijfmestgiften

Uitvoering 2004 en 2005

In 2004 werden ten behoeve van dit onderzoek de verschillende behandelingen nog een keer op dezelfde wijze aangelegd als in de periode 1999-2002. Zie voor het proefveldschema bijlage 2.

De proef is opgezet volgens het splitplot-principe met vier herhalingen. De hoofdfactor werd gevormd door een combinatie van winterbehandeling en organische mestsoort en bestond uit de volgende drie behandelingen:

1. Winterbraak en snijmais bemest met drijfmest (B)
2. Nazaai met groenbemester en snijmais bemest met drijfmest (R)
3. Nazaai met groenbemester en snijmais bemest met stalmest (G/S)

Als groenbemester werd Nitrafix ingezaaid. Dit bestond uit 90% bladrogge en 10% triticale.

Binnen de hoofdfactor werden vijf bemestingsvarianten aangelegd (N1 t/m N5). Deze werden met name gevormd door verschillende mestgiften. Bij de winterbehandelingen met drijfmest waren dit 0, 15, 30 en 50 m³ per ha en bij de behandelingen met stalmest 0, 15 en 30 ton. De uitvoering in 2004 was gericht op de voortzetting van de verschillende behandelingen. Daarom zijn er geen opbrengsten bepaald.

In 2005 werden voorafgaand aan de bemesting diverse bodemanalyses uitgevoerd om het meerjarig effect van groenbemesters en organische bemesting op de bodemkwaliteit te bepalen.

Om ook effect op de gewasopbrengst te bepalen werden in 2005 alle behandelingen gelijk bemest met 40 m³ runderdrijfmest per ha. De verschillen in gewasopbrengst zijn op deze manier toe te schrijven aan de verschillen in bodemeigenschappen. Voor de waarnemingen van dit onderzoek werden niet alle bemestingsvarianten gebruikt. Zie voor meer teeltinformatie bijlage 3.

Drijfmest en stalmest werden in 2004 en 2005 bemonsterd en geanalyseerd door Agrarisch Laboratorium Noord Nederland (ALNN). De samenstelling van de mest is weergegeven in tabel 2.

Tabel 2 Samenstelling drijfmest en vaste mest in 2004 en 2005 (g/kg)

	ds	ras	org. stof	N _{min}	N _{tot}	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	C/N
2004										
Drijfmest	87	23	64	1,9	3,4	1,2	6,0	1,1	<0,6	8
Vaste mest	195	56	139	0,4	4,7	2,4	9,8	1,6	1,0	15
2005										
Drijfmest	84	23	62	1,6	3,1	1,3	5,8	-	-	12

Waarnemingen

Dit onderzoek was gericht op de meerjarige effecten van winterbeheer en het bemestingsniveau met organische mest op de bodemkwaliteit. Het onderscheid in organische bemestingniveau tussen sommige behandelingen was beperkt. Daarom werden de waarnemingen voor dit onderzoek gedaan op een selectie van de bemestingsniveaus van de oorspronkelijke proef.

Chemische bodemanalyse 0-25 cm

In april 2005 werden vóór de bemesting monsters genomen van de laag 0-25 cm van de behandelingen BN1, BN3, BN4, RN1, RN3, RN4, SN1, SN3, SN5. Deze monsters werden voor analyse opgestuurd naar BedrijfsLaboratorium voor Grond en Gewasonderzoek (BLGG) te Oosterbeek. In tabel 3 is weergegeven welke bepalingen zijn uitgevoerd. De analyse van het HWC-gehalte is uitgevoerd door Alterra te Wageningen.

Tabel 3 Onderzochte chemische bodemparameters in de laag 0-25

Parameter	Eenheid	Methode
Organische stofgehalte	%	TSC®
pH		PH-KCl
Klei humus (CEC)	mmol/kg	TSC®
CEC-bezetting	%	TSC/PAE®
C-totaal	g C/100 g	C-elementair
Hot Water Carbon (HWC)	µg g-1	Ghani et al., 2003
C in organische stof	%	Berekend
N-totaal	mg N/kg	TSC®
C/N verhouding		Berekend
N-leverend vermogen (NLV)	kg N/ha	Berekend
Fosfor	mg P/kg	PAE®
P-AI	mg P2O5/100 g	P-AI
Kalium	mg K/kg	PAE®
Kaligetal		Berekend
Zwavel totaal	mg S/kg	TSC®
S-leverend vermogen	kg S/ha	Berekend
Magnesium	mg Mg/kg	PAE®
Borium	µg B/kg	PAE®
Natrium	mg Na/kg	PAE®
Mangaan	mg Mn/kg	PAE®
Zink	µg Zn/kg	PAE®
Zink-getal		Berekend
Koper	µg B/kg	PAE®

Fysische en biologische bodemanalyses

In april 2005 werden vóór de bemesting monsters genomen van de laag 0-10 cm en/of 0-20 cm voor de bepaling van diverse fysische en biologische parameters. In tabel 4 is weergegeven welke bepalingen zijn uitgevoerd.

Bodembioologische bepalingen werden met name gedaan in de laag 0-10 cm, omdat de activiteit van bodemleven zich vooral in de bovenlaag concentreert. De monsters zijn genomen van de behandelingen BN1, BN4, RN1, RN4, SN5. Om budgettaire redenen werden een beperkt aantal behandelingen bemonsterd. De monsters hebben we voor analyse van enkele chemische parameters en nematoden opgestuurd naar BLGG. Alterra verzorgde de microbiologische bepalingen. Het Louis Bolk Instituut analyseerde het aantal wormen en de bodemdichtheid.

Gewasopbrengst en kwaliteit

Voor het bepalen van de opbrengst werden van de behandelingen BN1, BN3, BN4, RN1, RN3, RN4, SN1, SN3, SN5 per veld de vier middenrijen (van totaal acht rijen) maïs over een lengte van 12 m geoogst met een zelfrijdende proefveldhakselaar. Het gehakselde product werd per veldje gewogen. Daarna nam men twee monsters van circa 750 gram. Eén monster werd gedroogd bij 103 °C ter bepaling van het gehalte aan drogestof (ds), het andere monster werd gedroogd bij 70 °C en opgestuurd naar BLGG. In dit monster werd het gehalte aan ruw eiwit (re) en zetmeel bepaald.

Tabel 4 Onderzochte chemische, fysische en biologische bodemparameters in de laag 0-10 cm

Parameter	Eenheid	Methode
<i>Chemisch</i>		
pH		KCl
Org. stof	%	Groeiverlies
C-totaal	g C/100 g	C-elementair
N-totaal	mg N/kg	N-elementair
<i>Fysisch</i>		
Vochtgehalte	%	100 cc ringen 2,5-7,5 cm diepte
Dichtheid	g/cm ³	100 cc ringen 2,5-7,5 cm diepte
Water infiltration minutes	aantal minuten per 500 ml water	Testkit
Weerstand 0-10 cm	mPa	Conus 2 cm ²
Weerstand 10-20 cm	mPa	Conus 2 cm ²
Weerstand 20-30 cm	mPa	Conus 2 cm ²
Weerstand 30-40 cm	mPa	Conus 2 cm ²
Kruimel 0-10 cm	g/400 cm ²	Visueel
Afgerond 0-10 cm	g/400 cm ²	Visueel
Scherp 0-10 cm	g/400 cm ²	Visueel
Kruimel 10-20 cm	g/400 cm ²	Visueel
Afgerond 10-20 cm	g/400 cm ²	Visueel
Scherp 10-20 cm	g/400 cm ²	Visueel
Wortels op 10 cm	n/400 cm ²	Visueel
Wortels op 20 cm	n/400 cm ²	Visueel
Macroporiën op 10 cm	n/400 cm ²	Visueel
Macroporiën op 20 cm	n/400 cm ²	Visueel
<i>Biologisch</i>		
Field respiration	kg CO ₂ -C/ha/dag	Testkit
CO ₂ -Gaia	mg CO ₂ per 100 gr droge grond in 7 dagen	Aeroob droge grond
BFI via TSC	mg N/kg	TSC
BFI klassiek	mg N/kg	Anaeroob
Fungi biomass	µg C/g dry soil	
Fungi act	% of hyphal length	
Bacteria biomass	µg C/g dry soil	
Tymidine	pmol/g.h	
Leucine	pmol/g.h	
Pot. N-mineralisatie aeroob	mg N/kg.wk	Aeroob natte grond
Pot. N-mineralisatie anaeroob	mg N/kg	Anaeroob natte grond
Pot. C-mineralisatie	mg C/kg.wk	
<i>Wormen</i>		
Total	n/m ²	Handsorteren
Adult	n/m ²	
Juvenile	n/m ²	
Rest	n/m ²	
Biomass	g/m ²	
<i>Nematoden</i>		
Totaal	n/100 g	Oostenbrink-methode
Bacterie eter	%	Lichtmicroscop
Carnivoor	%	Lichtmicroscop
Daurlarve	%	Lichtmicroscop
Omnivoor	%	Lichtmicroscop
Plantenparasiet	%	Lichtmicroscop
Schimmeleter	%	Lichtmicroscop
Cp 1	%	Lichtmicroscop
Cp 2	%	Lichtmicroscop
Cp 3	%	Lichtmicroscop
Cp 4	%	Lichtmicroscop
Cp 5	%	Lichtmicroscop

Statistische analyse

De chemische bodemparameters (laag 0-25 cm) werden statistisch geanalyseerd door middel van de variantie analyse module binnen het statistische programma Genstat. Daarbij is rekening gehouden met de splitplot opzet van de proef. De fysische en biologische bodemparameters (laag 0-10 cm) konden niet op deze manier worden geanalyseerd, omdat er bij één winterbeheerniveau slechts waarnemingen zijn gedaan bij één bemestingsniveau, terwijl bij de andere winterbeheerniveaus de waarnemingen bij twee bemestingsniveaus waren gedaan. De dataset was daardoor niet gebalanceerd. Daarom is de analyse uitgevoerd door middel van de functie REML (Residual Maximum Likelihood) binnen Genstat. Een aantal parameters (percentageverdeling structuurelementen, macroporiën en nematoden en aantallen wormen) werden niet normaal verdeeld verondersteld maar binominaal. Zij zijn geanalyseerd met behulp van GLMM (Generalized Linear Mixed Model) waarbij de parameters worden geschat op de logitschaal. Dit levert uiteindelijk niet de absolute aantallen op, maar een kans op aanwezigheid (uitgedrukt in een percentage).

Om enig inzicht te krijgen in de samenhang tussen de verschillende bodemparameters en de gewasopbrengst werden voor de bodemparameters 0-10 cm en 0-25 cm correlatiematrixen gemaakt met aanvullend een "bi-plot" (Gabriel, 1971). Dit is een grafische methode die berust op de multivariate analysetechniek PCA (Principale Componenten Analyse). In deze methode worden de experimentele eenheden (in dit geval dus de veldjes) grafisch uitgezet en krijgen elk het label van de toegepaste behandeling. De x-as en y-as van de grafiek zijn de twee meest verklarende latente (niet gemeten) variabelen. Deze kunnen worden geïnterpreteerd, doordat ze een sterke samenhang vertonen met de kenmerken die vrijwel evenwijdig lopen aan de assen. Vanuit een centraal punt in de grafiek vertrekken verschillende pijlen. Dit centrale punt geeft het multivariate (over alle kenmerken heen) punt aan van een (denkbeeldig) veldje met een gemiddelde waarde voor alle gemeten kenmerken. De pijlpunten geven aan in welke tweedimensionale richting de relatief hoge waarden voor het betreffende kenmerk liggen. Pijlen (kenmerken) die bijna evenwijdig liggen zijn onderling gecorreleerd en deze samenhang neemt af naarmate de hoek tussen de pijlen afneemt. De hoek tussen de pijlen geeft dus een globale indruk van de samenhang tussen kenmerken. Een zeer kleine hoek betekent een positieve correlatie, terwijl een zeer grote hoek (in de buurt van 180 graden) een negatieve correlatie betekent. Wanneer twee pijlen (kenmerken) haaks op elkaar staan (in de buurt van 90 graden) is er weinig samenhang.

2.2 Resultaten en discussie

In deze paragraaf bespreken we de verschillen in bodemkwaliteit en gewasopbrengst tussen de verschillende behandelingen.

De verschillen in bodemkwaliteit kunnen worden toegeschreven aan de behandelingen met de volgende kanttekeningen:

- Wat betreft de organische mestniveaus is alleen de nul-variant gestart in 1988. De overige zijn in 1996 gestart, dus 9 jaar uitgevoerd voorafgaand aan de bemonstering.
- De groei en productie van de wintergewassen waren per jaar nogal wisselend. De drogestofproductie van de bovengrondse delen varieerde tussen de jaren van praktisch nihil tot 2750 kg ds per ha (Schröder et al., 1992 en Van Dijk et al., 1995).
- In 2003 werden enkele behandelingen afwijkend uitgevoerd, d.w.z. op alle veldjes werd drijfmest toegediend en Italiaans raaigras gezaaid. Dit betekende voor de stalmest- en de braakobjecten een duidelijk afwijkend management. Het Italiaans raaigras deed het echter zeer slecht.
- De behandeling G/S is een combinatiebehandeling. Oorspronkelijk was het een groenbemestervariant met onderzaai van Italiaans raaigras, later is overgegaan op een variant met stalmest en nazaai van Nitrafix. In totaal is er 5 jaar stalmest toegediend. We gaan ervan uit dat dit voldoende lang is om enig effect te sorteren.
- Vanaf het begin van de proef werd kunstmest gebruikt. De giften zijn om verschillende redenen geleidelijk afgebouwd. Dit is over de hele breedte van de proef redelijk gelijk gegaan. Mogelijk heeft kunstmest indirecte effecten op bodemkwaliteit.

2.2.1 Organische stofaanvoer van verschillende behandelingen

In de vorige paragraaf is vermeld welke behandelingen van de oorspronkelijke proef werden gekozen voor de waarnemingen ten behoeve van dit onderzoek. Omdat organische stof een centrale rol speelt bij bodemkwaliteit (Hanegraaf en De Visser, 2004 en Pronk et al., 2002) is voor de verschillende behandelingen die in dit onderzoek zijn meegenomen uitgerekend wat de gemiddeld jaarlijkse aanvoer aan effectieve organische stof was. De aanvoer uit mest konden we berekenen uit de jaarlijks vastgelegde hoeveelheden mest. Van de meeste jaren was

ook het organische stofgehalte bekend. Voor het berekenen van de hoeveelheid effectieve organische stof is uitgegaan van 50 en 55% van de organische stof voor respectievelijk runderdrijfmest en stalmest. Voor de aanvoer uit wintergewassen is de gemiddelde jaarlijkse opbrengst geschat op basis van resultaten, beschreven in Schröder et al. (1992) en Van Dijk et al. (1995). Voor winterrogge en Italiaans raaigras is een drogestofopbrengst aangehouden van 1050 en 1200 kg/ha in de bovengrondse delen. Op basis van uitkomsten van het onderzoek van Van Laarhoven et al. (2003) is de opbrengst van Nitrafix op hetzelfde niveau ingeschat als Italiaans raaigras. Voor het berekenen van de totale hoeveelheid organische stof is ervan uitgegaan dat bij granen van de totale drogestofproductie voor 75% uit bovengrondse delen bestaat en bij gras 60% (Velthof et al., 1998). Voor het berekenen van de hoeveelheid effectieve organische stof is ervan uitgegaan dat het aandeel effectieve organische stof van de bovengrondse delen 20% is en van de ondergrondse delen 35% (Timmer et al., 2003). De resultaten staan in tabel 5.

Tabel 5 Gemiddelde jaarlijkse aanvoer van effectieve organische stof van de verschillende behandelingen

Winterbeheer	B			R			G/S		
	Laag N1	Midden N3	Hoog N4	Laag N1	Midden N3	Hoog N4	Laag N1	Midden N3	Hoog N5
Aanvoer effectieve org. stof (kg/ha/jaar)	55	1280	1810	370	1600	2125	470	1400	1680

De gemiddelde jaarlijkse aanvoer aan effectieve organische stof met winterrogge bedroeg ongeveer 320 kg/ha. Bij de combinatiebehandeling G/S waarbij het wintergewas een periode uit Italiaans raaigras bestond en een periode uit Nitrafix, was de gemiddelde aanvoer van effectieve organische stof uit de groenbemesters circa 420 kg/ha. De aanvoer van effectieve organische stof uit de wintergewassen was beduidend lager dan de aanvoer uit mest. Bij winterbeheer behandelingen B en R werd jaarlijks uit mest bij de niveaus Midden en Hoog respectievelijk bijna 1300 en ruim 1800 kg/ha aangevoerd.

Bij de combinatiebehandeling G/S was de aanvoer uit mest bij de bemestingsniveaus Midden en Hoog wat lager, namelijk 980 en 1270 kg/ha.

2.2.2 Effect op chemische bodemkwaliteit (0-25 cm)

Een aantal bodemparameters werden significant beïnvloed door winterbeheer en/of door het bemestingsniveau. Deze parameters worden hieronder successievelijk behandeld. De bodemparameters CEC-bezetting C% in organische stof, C/N verhouding, N-totaal, NLV, pH, fosfor, SLV, borium, koper, mangaan en natrium werden niet beïnvloed door het winterbeheer en bemestingsniveau. Daarom is van deze parameters alleen het gemiddelde weergegeven in tabel 12.

Organische stof en N-leverend vermogen

Er was geen effect van winterbeheer op het organische stofgehalte. Het bemestingsniveau had wel een effect op het organische stofgehalte (tabel 6). Het gehalte van het hoge bemestingsniveau was ongeveer 0,3% (absoluut) hoger dan van de beide andere bemestingsniveaus. In de vorige paragraaf (2.2.1) bleek dat de aanvoer van organische stof door bemesting met organische mest duidelijk hoger was dan de aanvoer uit groenbemesters. Schijnbaar is de aanvoer aan organische stof uit de groenbemesters te laag geweest om in deze proefopzet een meetbaar effect te hebben op het organische stofgehalte.

De NLV (berekend door BLGG) werd niet beïnvloed door het winterbeheer en bemestingsniveau (tabel 12).

Gemiddeld was de NLV vrij laag (46 kg/ha). Dit kan betekenen dat relatief een groot deel van de organische stof oud en stabiel was.

Tabel 6 Effect bemestingsniveau op organische stofgehalte

Bemestingsniveau	Organische stof gehalte (%)
Laag	2,75 ^a
Midden	2,70 ^a
Hoog	3,00 ^b
LSD (p<0,05)	0,19

Getallen in dezelfde rij met verschillend superscript zijn significant verschillend (p<0,05)

Kationen uitwisselcapaciteit (CEC), CEC bezetting en pH

De CEC en CEC-bezetting zijn door BLGG ontwikkelde parameters die aangeven wat de capaciteit is van de bodem om positief geladen nutriënten vast te houden en hoeveel van deze capaciteit wordt benut. Evenals het organische stofgehalte werd de CEC niet beïnvloed door het winterbeheer, maar wel door het bemestingsniveau (tabel 7). Het effect van bemestingsniveau ligt ook in lijn met het effect op het organische stofgehalte. Dit is verklaarbaar doordat organische stof het klei-humus-complex beïnvloedt. Een hoger gehalte aan organische stof zal de capaciteit van de bodem om nutriënten vast te houden vergroten. De CEC-waarde bij het hoge bemestingsniveau was circa 6% hoger dan bij de beide andere bemestingsniveaus.

In tegenstelling tot de CEC-waarde was er geen effect van winterbeheer en bemestingsniveau op de CEC-bezetting. De CEC-bezetting was met gemiddeld 78% vrij laag (tabel 12). Een CEC-bezetting lager dan 80% wordt als niet optimaal gezien. Een lage CEC-bezetting kan een indicatie zijn voor een te lage pH. De gemiddelde pH was met een waarde van 5,6 echter goed te noemen (tabel 12). Overigens hadden zowel winterbeheer als bemestingsniveau geen effect op de pH. De lage CEC-bezetting duidt in dit geval dus op een laag bemestingsniveau van o.a. K, Na en Mg.

Tabel 7 Effect bemestingsniveau op de CEC-waarde

Bemestingsniveau	CEC-waarde (mmol/kg)
Laag	93,2 ^a
Midden	92,1 ^a
Hoog	98,3 ^b
LSD (p<0,05)	4,1

Getallen in dezelfde rij met verschillend superscript zijn significant verschillend (p<0,05)

C-totaal, N-totaal en C/N verhouding

Ook het gehalte aan C-totaal werd alleen beïnvloed door het bemestingsniveau. Het verschil tussen de drie bemestingsniveaus was significant (tabel 8). Wat betreft het organische stofgehalte was het gehalte van alleen het hoge bemestingsniveau verschillend van de beide andere. Toch kon er geen verschil in percentage C in de organische stof worden aangetoond.

Er was geen effect van winterbeheer en bemestingsniveau op het gehalte aan N-totaal. Ondanks dat er wel een effect van bemestingsniveau was op het C-totaalgehalte en niet op N-totaalgehalte was er geen effect van bemestingsniveau op de C/N verhouding (zie tabel 12).

Tabel 8 Effect bemestingsniveau op de C-totaal gehalte

Bemestingsniveau	C-totaal (g C/ 100 g)
Laag	1,19 ^a
Midden	1,27 ^b
Hoog	1,38 ^c
LSD (p<0,05)	0,06

Getallen in dezelfde rij met verschillend superscript zijn significant verschillend (p<0,05)

Hot Water Extractable Carbon (HWC)

Deze indicator geeft aan hoeveel koolstof met heet water kan worden geëxtraheerd. Met deze lichte extractiemethode wordt alleen de labiele koolstof uit de bodem organische stof gemeten. HWC zou gecorreleerd zijn met de microbiële biomassa en met micro-aggregaten. HWC is mogelijk een gevoelige indicator voor subtiele veranderingen in een ecosysteem, zoals bemestingsintensiteit, intensiteit van veebezetting en als vroege indicator voor een afname van de organische stof. Internationaal bestaat er nog geen overeenstemming over de meerwaarde van HWC. In Nederland wordt deze analyse uitgevoerd en de methode als geheel verder ontwikkeld door Alterra. Om de HWC goed te kunnen interpreteren is onderzoek nodig naar de snelheid van HWC-afname en het herstel daarvan. In het kader van Zorg voor Zand wordt in module 1 onderzoek gedaan naar het perspectief van HWC als indicator voor veranderingen in de organische stof (Hanegraaf et al. in prep.). De metingen in dit onderzoek liepen uiteen van 500 – 940 µg g⁻¹ grond. Deze range valt binnen de meetresultaten zoals gemeten in graspercelen in Bakel, gras- en akkerbouwpercelen in Gent en graspercelen van De Marke (alle ook zandgrond; Hanegraaf, 2006). Voor de dataset van Bakel, Gent en De Marke kon een significant verband tussen HWC en de afbraaksnelheid worden vastgesteld. In dit onderzoek was er alleen een significant effect van het bemestingsniveau op de HWC (zie tabel 9). Het verschil tussen de drie bemestingsniveaus was, evenals bij het gehalte aan C-totaal, significant waarbij het hoogste bemestingsniveau de hoogste HWC-waarde had. Ook het relatieve verloop tussen de bemestingsniveaus kwamen redelijk overeen.

Tabel 9 Effect bemestingsniveau op de HWC-waarde

Bemestingsniveau	HWC-waarde ($\mu\text{g/g}$)
Laag	578 ^a
Midden	660 ^b
Hoog	751 ^c
LSD ($p < 0,05$)	34,4

Getallen in dezelfde rij met verschillend superscript zijn significant verschillend ($p < 0,05$)

Fosfaat

De voor gewasopname beschikbare fosfaat (P-PAE) in de grond werd niet beïnvloed door het winterbeheer en bemestingsniveau. De gemiddelde waarde was vrij hoog, namelijk 4,6 mg P2O5/100 g (zie tabel 10). Het gehalte aan fosfaat wat minder direct beschikbaar is, maar wel redelijk gemakkelijk vrijkomt (P-AI), werd alleen beïnvloed door het bemestingsniveau. De P-AI van het lage bemestingsniveau was 5 mg P2O5/100 g hoger dan van de beide andere bemestingsniveaus. Dit verschil werd vooral veroorzaakt door de winterbeheren B en R. Bij winterbeheer G/S was het verschil veel kleiner. Desondanks was er geen significant interactie-effect. De hogere P-AI bij het lage bemestingsniveau wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat bij de hogere bemestingsniveaus relatief meer fosfaat is vastgelegd in de organische stof. Overigens was de gemiddelde P-AI waarde van alle behandelingen hoog (Adviesbasis bemesting grasland en voedergrassen, 2002). Dit hoge gehalte komt nog voort uit de periode van voor 1988. Bij de start van de meerjarenproef in 1988 was het Pw-gehalte 95 in de laag 0-20 cm en 66 in de laag 20-40 cm (Schröder et al., 1992)

Tabel 10 Effect bemestingsniveau op de P-AI

Bemestingsniveau	P-AI (mg P2O5/100 g)
Laag	91 ^a
Midden	86 ^b
Hoog	86 ^b
LSD ($p < 0,05$)	2,7

Getallen in dezelfde rij met verschillend superscript zijn significant verschillend ($p < 0,05$)

Kalium en magnesium

Het gemiddeld kaligetal was met een waarde van circa 11 vrij laag tot laag (Adviesbasis bemesting grasland en voedergrassen, 2002). Het kaligetal werd significant beïnvloed door het winterbeheer en het bemestingsniveau (tabel 11). Bij winterbeheer was er alleen een verschil tussen de behandelingen B en G/S. Het kaligetal van winterbeheer G/S was circa twee eenheden lager dan van winterbeheer B. Het lager kaligetal van winterbeheer G/S wordt mogelijk veroorzaakt door de toepassing van stalmest bij deze behandeling. Daarmee wordt in vergelijking met de hoeveelheid organische stof relatief minder kalium aangevoerd dan met drijfmest (zie ook tabel 2).

Wat betreft het bemestingsniveau had het hoogste niveau het hoogste K-getal. Alleen het verschil tussen het hoogste en laagste bemestingsniveau van 1,5 eenheden was een significant verschil. Praktisch gezien zijn de verschillen vrij klein wanneer men in ogenschouw neemt dat het streeftraject tussen de 11 en 17 ligt. Evenals op het kaligetal hadden zowel winterbeheer als bemestingsniveau een significant effect op het magnesiumgehalte.

Wat betreft winterbeheer was het gehalte bij behandeling B gemiddeld 6 mg/kg hoger dan bij de beide andere winterbeheerbehandelingen. Bij het bemestingsniveau zat er geen verschil tussen de niveaus Laag en Midden. Het gehalte van niveau Hoog was gemiddeld ruim 6 mg/kg hoger dan van de andere niveaus. Omdat het streeftraject tussen de 60 en 83 mg/kg ligt, zijn de verschillen praktisch gezien vrij klein.

Tabel 11 Effect winterbeheer en bemestingsniveau op kaligetal en magnesiumgehalte

	Winterbeheer				Bemestingsniveau			
	B	R	G/S	Lsd	Laag	Midden	Hoog	Lsd ($p < 0,05$)
Kali-getal	11,8 ^a	10,8 ^{ab}	9,8 ^b	1,32	10,0 ^a	10,8 ^{ab}	11,5 ^b	1,19
Magnesium (mg Mg/kg)	47 ^a	42 ^b	40 ^b	4,2	40 ^a	41 ^a	47 ^b	2,1

B=Braak+drijfmest, R=Nateelt rogge+drijfmest, G/S=Eerst grasonderzaai+drijfmest en later stalmest+rogge
Getallen in dezelfde rij met verschillend superscript zijn significant verschillend ($p < 0,05$)

Overige elementen

De gehalten aan borium, koper en mangaan lagen allemaal op een laag niveau (zie tabel 12). De gehalten aan borium en koper lagen gemiddeld zelfs onder de detectiegrens van resp. 76 en 25 µg/kg. De krappe organische bemesting in combinatie met geen toevoer uit kunstmest rijenbemesting de laatste 3 jaar zijn hier met name wat betreft borium en koper hoogstwaarschijnlijk debet aan. Het zinkgetal kwam gemiddeld op 39 uit en zat daarmee op een redelijk goed niveau. Het zinkgehalte wordt over het algemeen al op peil gehouden bij lage drijfmestgiften. Zwavel en natrium zijn elementen die vooral een rol spelen bij grasland. De berekende S-aanvoer (uit S-leverend vermogen, S-depositie en geschatte levering door grondwater) varieerde sterk van laag tot hoog, maar zat gemiddeld op een goed niveau. Het gemiddelde natriumgehalte was erg laag: onder het detectieniveau van 6 g/kg.

Tabel 12 Gemiddelde analyseresultaten van bodemparameters die niet werden beïnvloed door winterbeheer en bemestingsniveau

Parameter	Eenheid	Waarde
CEC bezetting	%	78,4
C in org.stof	%	45,1
N-totaal	mg N/kg	1051
C/N verhouding		16,3
N-leverend vermogen	kg N/ha	46
pH		5,6
Fosfor (P-PAE)	mg P/kg	4,6
S-aanvoer	kg S/ha	27
Borium	µg B/kg	<76
Koper	µg Cu/kg	<25
Mangaan	mg Mn/kg	1,4
Natrium	mg Na/kg	<6
Zinkgetal		39

2.2.3 Effect op fysische en biologische bodemkwaliteit

In paragraaf 2.1 is reeds vermeld dat voor de bepalingen van de fysische en biologische bodemkwaliteit bij winterbeheer G/S alleen het hoge bemestingsniveau is meegenomen. Dit maakt een weergave voor een rechtstreekse vergelijking met de andere behandelingen lastig. Uit de analyse van de resultaten bleek echter dat praktisch alle resultaten van deze behandeling vergelijkbaar waren met het hoge bemestingsniveau van de winterbeheerbehandeling R. Alleen de C-mineralisatie indicator "CO2-Gaia" was afwijkend (zie onder kopje C-mineralisatie). Daarom is ervoor gekozen om bij de resultaten het hoge bemestingsniveau van de winterbeheerbehandeling G/S weg te laten.

Chemische bodemkwaliteit (laag 0-10)

Organische stof en C-totaal

Het organische stofgehalte in de laag 0-10 cm lag in deze proef op hetzelfde niveau als het organische stofgehalte na 39 jaar continue maïsland in een vruchtwisselingproef van de Universiteit van Gent (Van Eekeren, 2006). Alleen het bemestingsniveau had een significant, gering effect op het gehalte aan organische stof en C-totaal (tabel 13). Vergelijkbare resultaten werden gevonden in de laag 0-25 cm (paragraaf 2.2.1). Dat er op het moment van bemonstering op de proefveldjes met groenbemester een roggegewas stond, heeft dus ook geen invloed gehad op het organische stofgehalte. Het C-gehalte van de organische stof lag tussen de 57 en 59%.

Tabel 13 Effect winterbeheer en bemestingsniveau op gehalte aan organische stof en C-totaal en pH-KCl

	Winterbeheer		Bemestingsniveau	
	Braak	Rogge	Laag	Hoog
Organische stof gehalte (%)	2,21	2,33	2,15 ^a	2,39 ^b
C-totaal (g C/100 g)	1,29	1,35	1,27 ^a	1,38 ^b
pH-KCl	5,54 ^a	5,39 ^b	5,46	5,46

Getallen in dezelfde rij met verschillend superscript zijn significant verschillend ($p < 0,05$)

pH

Het winterbeheer had een significant, gering effect op de pH. Hoewel een klein verschil, was de pH van winterbeheer Braak 0,15 punt hoger dan van winterbeheer Rogge. In de laag 0-25 werd dit niet gevonden.

Fysische bodemkwaliteit

Dichtheid en vochtgehalte

De dichtheid in de laag 2,5-7,5 cm was significant lager onder de Braak in vergelijking met de veldjes onder groenbemester met rogge (tabel 14). De veldjes zijn na de maïsoogst allemaal bewerkt met de cultivator waarna op de groenbemesterveldjes rogge is ingezaaid. Blijkbaar was in de braakveldjes de grond losser en minder bezakt. Op basis van organische stofgehalte zouden de veldjes rond een dichtheid van 1,40 g/cm³ uitkomen. De dichtheid van Braak lag daar duidelijk onder en van Rogge lag daar duidelijk boven.

Het vochtgehalte was onder de Braak significant lager dan onder Rogge. Dit kunnen we verklaren doordat de bemonstering op een tijdstip van het jaar plaatsvond waarin de verdamping van het gewas nog niet zo sterk speelt. De braakveldjes (zonder een gewas) drogen dan relatief sneller.

Tabel 14 Effect winterbeheer en bemestingsniveau op dichtheid en vochtgehalte

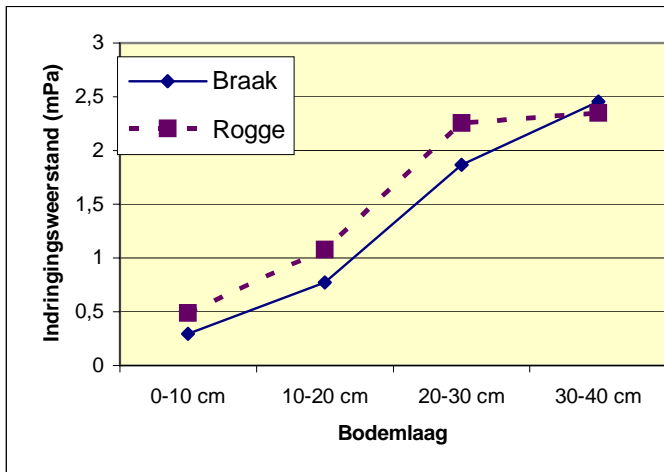
	Winterbeheer		Bemestingsniveau	
	Braak	Rogge	Laag	Hoog
Dichtheid (g/cm ³)	1,34 ^a	1,46 ^b	1,41	1,38
Vochtgehalte (%)	16,7 ^a	20,1 ^b	18,1	18,7

Getallen in dezelfde rij met verschillend superscript zijn significant verschillend (p<0,05)

Indringingsweerstand

De indringingsweerstand is in deze proef gemeten met een conus van 2 cm². In figuur 1 zijn cijfers weergegeven in mega Pascal. Als vuistregel wordt aangehouden dat een grond niet meer doorwortelbaar is wanneer de indringingsweerstand hoger is dan 2,5-3 mPa. In de laag tot 40 cm werd deze waarde niet gehaald. Braak had in de laag 0-30 cm wel een significant lagere weerstand dan Rogge. Dit sluit aan bij de lagere dichtheid van de Braak ten opzicht van Rogge. Wanneer het vochtgehalte van de Braak vergelijkbaar was geweest met die van Rogge, dan had de weerstand van Braak nog lager uitgepakt.

Figuur 1 Verloop indringingsweerstand (mPa) bij Braak en Rogge



Structuur

Het aandeel kruimelstructuur (laag 0-20 cm) was significant hoger onder Braak, terwijl het aandeel afgerond blokkige elementen het hoogst was onder Rogge (tabel 15). Schijnbaar was onder de Braak de grond losser waardoor het gemakkelijker uit elkaar valt (als kruimels beoordeeld). In de vruchtwisselingproef in Gent, waar na de snijmaïsoogst de kruimelstructuur is gemeten, lag het aandeel rond de 7-8% (Van Eekeren, 2006). Het lutumgehalte in Gent was echter ook tussen de 7 en 8%, terwijl dat in de Berkendijkproef rond de 2% lag. Een en ander zet wel vraagtekens bij de geschiktheid van de methode van structuurbeoordeling voor een hele lichte zandgrond.

Tabel 15 Effect winterbeheer en bemestingsniveau op structuur

	Winterbeheer		Bemestingsniveau	
	Braak	Rogge	Laag	Hoog
Kruimel %	77 ^a	50 ^b	67	60
Afgerond %	11 ^a	32 ^b	21	22
Scherpblokkig %	11	18	12	17

Getallen in dezelfde rij met verschillend superscript zijn significant verschillend ($p < 0,05$)

Macroporiën en wortels

Uit tabel 16 blijkt dat het aantal wortels op 20 cm diepte bij winterbeheer Rogge significant hoger was dan bij Braak. Het aantal wortels op 10 cm diepte was niet significant verschillend. Logischerwijs is de verwachting dat wanneer een groenbemester wordt geteeld, het aantal wortels hoger is, zeker op 10 cm diepte. Dat de verschillen niet groter waren, heeft mogelijk te maken met de wijze van meten. Er worden namelijk zowel dode als levende wortels geteld.

Het aantal macroporiën was laag in deze proef. Op zich niet verwonderlijk gezien het laag aantal wormen wat in deze proef werd gevonden (zie verder onder Regenwormen). De aantallen macroporiën zijn vergelijkbaar met de behandeling van continue teelt snijmais in de vruchtwisselingproef van de Universiteit van Gent (Van Eekeren, 2006).

Tabel 16 Effect winterbeheer en bemestingsniveau op aantal wortels per 400 cm² en macroporiën op verschillende dieptes

	Winterbeheer		Bemestingsniveau	
	Braak	Rogge	Laag	Hoog
Wortels op 10 cm diepte	196	274	244	227
Wortels op 20 cm diepte	82 ^a	133 ^b	139 ^a	77 ^b
Macroporiën op 10 cm diepte	0,36	0,24	0,36	0,25
Macroporiën op 20 cm diepte	0,25	0,25	0,37	0,12

Getallen in dezelfde rij met verschillend superscript zijn significant verschillend ($p < 0,05$)

Waterinfiltratie

De snelheid van de waterinfiltratie was significant hoger (minder minuten) onder de braakveldjes dan onder de roggeveldjes (zie tabel 17). Dit lijkt duidelijk samen te hangen met het vochtgehalte (zie paragraaf 2.2.5). Onder de Braakveldjes was het vochtgehalte lager, waarschijnlijk door het sneller opdrogen van een grond zonder gewas in een tijd van het jaar dat verdamping van het gewas niet zo sterk speelt. Daardoor was de waterinfiltratie snelheid hoger. Naast de samenhang tussen het vochtgehalte en waterinfiltratie bleken beide parameters ook sterk gecorreleerd met de drogestofopbrengst.

Tabel 17 Effect winterbeheer en bemestingsniveau op waterinfiltratie snelheid

	Winterbeheer		Bemestingsniveau	
	Braak	Rogge	Laag	Hoog
Waterinfiltratie snelheid (minuten/500 ml)	2,02 ^a	9,98 ^b	5,72	6,28

Getallen in dezelfde rij met verschillend superscript zijn significant verschillend ($p < 0,05$)

Biologisch bodemkwaliteit

Microbiologie

De gemiddelde bacteriële biomassa op dit proefveld was minder dan de helft van wat men normaal op akkerbouwgrond vindt (Van Eekeren et al., 2003). Er waren geen significante hoofdeffekten van winterbeheer en bemestingsniveau, maar er was wel een interactie tussen beide factoren (zie tabel 18). De bacteriële massa was bij het lage bemestingsniveau onder Rogge significant hoger dan onder Braak. Bij het hoge bemestingsniveau was er geen verschil tussen Braak en Rogge. Met andere woorden: de rogge voegde bij het hoge bemestingsniveau weinig toe aan de bacteriële biomassa.

Tabel 18 Effect winterbeheer bij twee bemestingsniveaus op bacteriële biomassa

	Winterbeheer		Bemestingsniveau	
	Braak	Rogge	Laag	Hoog
Bacteriële biomassa ($\mu\text{g C/g grond}$)	17,6 ^a	33,7 ^b	27,8 ^b	23,1 ^{ab}

Getallen in dezelfde rij met verschillend superscript zijn significant verschillend ($p < 0,05$)

De thymidine- en leucine-inbouw zeggen iets over de groeisnelheid van de bacteriën en daarmee over hun activiteit. In vergelijking met de continueeltveldjes in de vruchtwisselingsproef van de Universiteit van Gent zijn zowel de thymidine- als de leucine-inbouw laag (Van Eekeren, 2006). Er was een tendens tot een hogere bacteriële activiteit bij een hoger bemestingsniveau (tabel 19). De schimmelbiomassa is vergelijkbaar met andere proefvelden en de schimmelactiviteit is hoog. Zowel bij de schimmelbiomassa als de schimmelactiviteit waren er geen significante verschillen tussen de behandelingen.

Tabel 19 Effect winterbeheer en bemestingsniveau op bacteriële activiteit en schimmel biomassa en activiteit

	Winterbeheer		Bemestingsniveau	
	Braak	Rogge	Laag	Hoog
Thymidine (pmol/g/h)	25	25	22	29
Leucine (pmol/g/h)	271	313	251	326
Schimmel biomassa(μ g C/g grond)	14	15	16	14
Schimmel activiteit (% hyphen lengte)	12	17	11	17

C-mineralisatie

Een van de methoden waarmee men de activiteit van het bodemleven kan beoordelen, is het meten van de ademhaling of koolzuurproductie. De veldrespiratie (CO₂-veld) was extreem laag. Ook de CO₂-Gaia en potentiële C-mineralisatie zijn eveneens laag (tabel 20). Over het algemeen kunnen we zeggen dat dit een grond is met een zeer lage biologische activiteit. De jarenlange continueelt met een negatieve organische stofbalans en intensieve mechanische belasting heeft blijkbaar zijn weerslag gehad op het bodemleven en de activiteit ervan. Zowel het winterbeheer en het bemestingsniveau hadden een significant effect op de verschillende C-mineralisatie-indicatoren. De absolute verschillen waren echter niet spectaculair. In tegenstelling tot de andere biologische parameters bleek de CO₂-Gaia van de winterbeheerbehandeling G/S met een waarde van 34,5 duidelijk hoger dan de winterbeheerbehandeling R(ogge). De indicatoren voor C-mineralisatie bleken slecht gecorreleerd met het organische stofgehalte in de bodem. Alleen de veldrespiratie bleek vrij sterk gecorreleerd met de drogestofopbrengst (zie paragraaf 2.2.5).

Tabel 20 Effect winterbeheer en bemestingsniveau op C-mineralisatie indicatoren

	Winterbeheer		Bemestingsniveau	
	Braak	Rogge	Laag	Hoog
CO ₂ -veld (kg CO ₂ -C/ha/dag)	0,14 ^a	0,18 ^b	0,14 ^a	0,17 ^b
CO ₂ -Gaia CO ₂ /100 g droge grond/wk	24,8	24,4	22,8 ^a	26,3 ^b
Pot.C-mineralisatie mg C/kg/wk in natte grond	45,1 ^a	52,0 ^b	46,4 ^a	50,8 ^b

Getallen in dezelfde rij met verschillend superscript zijn significant verschillend ($p < 0,05$)

N-mineralisatie

In tabel 21 is een aantal parameters weergegeven voor de N-mineralisatie. Over het algemeen was het niveau laag, maar vergelijkbaar met bijvoorbeeld de behandeling 39 jaar continueelt snijmaïs in de vruchtwisselingsproef van de Universiteit van Gent (Van Eekeren, 2006). Duidelijk is dat de veldjes met een hoger bemestingsniveau op bijna alle indicatoren voor N-mineralisatie significant hoger scoorden. N-totaal en potentiële N-mineralisatie anaëroob bleken positief gecorreleerd te zijn met de drogestofopbrengst (zie paragraaf 2.2.5).

Tabel 21 Effect winterbeheer en bemestingsniveau op N-mineralisatie

	Winterbeheer		Bemestingsniveau	
	Braak	Rogge	Laag	Hoog
N-totaal (mg N/kg)	841	866	797 ^a	910 ^b
Pot. N-mineralisatie aëroob (mg N/kg/week)	2,20	2,05	1,97 ^a	2,28 ^b
BFI via TSC methode (mg N/kg)	5,9	7,6	3,1 ^a	10,4 ^b
BFI via klassieke methode (mg N/kg)	9,5	10,2	7,3	12,3
Pot. N-mineralisatie anaëroob (mg N/kg)	13,4	14,4	13,0 ^a	14,8 ^b

Getallen in dezelfde rij met verschillend superscript zijn significant verschillend ($p < 0,05$)

Wanneer we kijken naar de individuele indicatoren, dan geven de onderste drie genoemde in principe hetzelfde weer. De BFI klassiek en potentiële N-mineralisatie anaëroobe zijn wat betreft analysemethodiek identieke parameters. De BFI via de TSC methode is een afgeleide van de klassieke methode. Verschillen tussen de waarden scheppen echter geen vertrouwen in de betrouwbaarheid van de verschillende methoden.

Nematoden

Het totaal aantal vrijlevende nematoden was laag (zie tabel 22), de normale range ligt tussen de 4000 en 7000 per 100 g grond. Onder de continueelt behandeling in Gent werd het dubbele aantal nematoden gevonden (Van Eekeren, 2006). Het aantal was wel positief gecorreleerd met de drogestofopbrengst (zie paragraaf 2.2.5). In de voedselgroepen domineren de bacterie-etters, wat voor bouwland niet ongevoelbaar is. In de onderscheiding op basis van overlevingsstrategieën domineert de cp2-groep (cp1=soorten die snel vermeerderden onder gunstige omstandigheden en cp5= tegengestelde karakteristieken). Deze groep omvat veel soorten die zich hebben aangepast aan het overleven in moeilijke omstandigheden. De cp1-groep is de "vermestingsindicator" (Van Eekeren et al., 2002). Deze waarden suggereren een voedselrijke, maar geen overbemeste situatie. Het hoge bemestingsniveau had hier een significant hogere waarde dan het lage bemestingsniveau.

Tabel 22 Effect winterbeheer en bemestingsniveau op vrijlevende nematoden

	Winterbeheer		Bemestingsniveau	
	Braak	Rogge	Laag	Hoog
Nematoden per 100 g grond 0-10 cm	1494	1643	1458	1667
Plantetende nematoden %	23	28	24	27
Bacterie-etende nematode %	61	57	60	58
Dauerlarven %	3	3	2 ^a	4 ^b
Schimmel-etende nematoden %	1	1	1	1
Roof nematoden %	3	4	4	4
Alles etende nematoden %	6	4	5	5
Cp1 %	16	12	11a	15b
Cp2 %	66	71	70	66
Cp3 %	2	2	2	2
Cp4 %	14	13	14	13
Cp5 %	3	3	3	3

Getallen in dezelfde rij met verschillend superscript zijn significant verschillend ($p < 0,05$)

Regenwormen

Het aantal wormen was heel laag en kwam gemiddeld over de proefveldjes op 10 wormen per m². Omgerekend kwam de biomassa van wormen in de laag 0-20 cm op 60 kg per hectare uit. Dat is vergelijkbaar met de continueeltbehandeling in de vruchtwisselingsproef van de Universiteit van Gent (Van Eekeren, 2006). Onder grasland op zandgrond zijn echter waarden tussen de 400-1500 kg per hectare mogelijk. Ook de vruchtwisselingbehandeling in Gent heeft na 3 jaar bouwland nog 200 kg wormen per hectare. In tabel 23 is de kans weergegeven dat er wormen worden aangetroffen bij een bepaalde behandeling in plaats van aantallen wormen, omdat veel veldjes geen wormen hadden. De kans op wormen bleek niet significant verschillend te zijn voor de verschillende behandelingen.

Tabel 23 Effect winterbeheer en bemestingsniveau op regenwormen

	Winterbeheer		Bemestingsniveau	
	Braak	Rogge	Laag	Hoog
Kans op wormen in plag van 20x20x20 cm	50%	25%	10%	65%

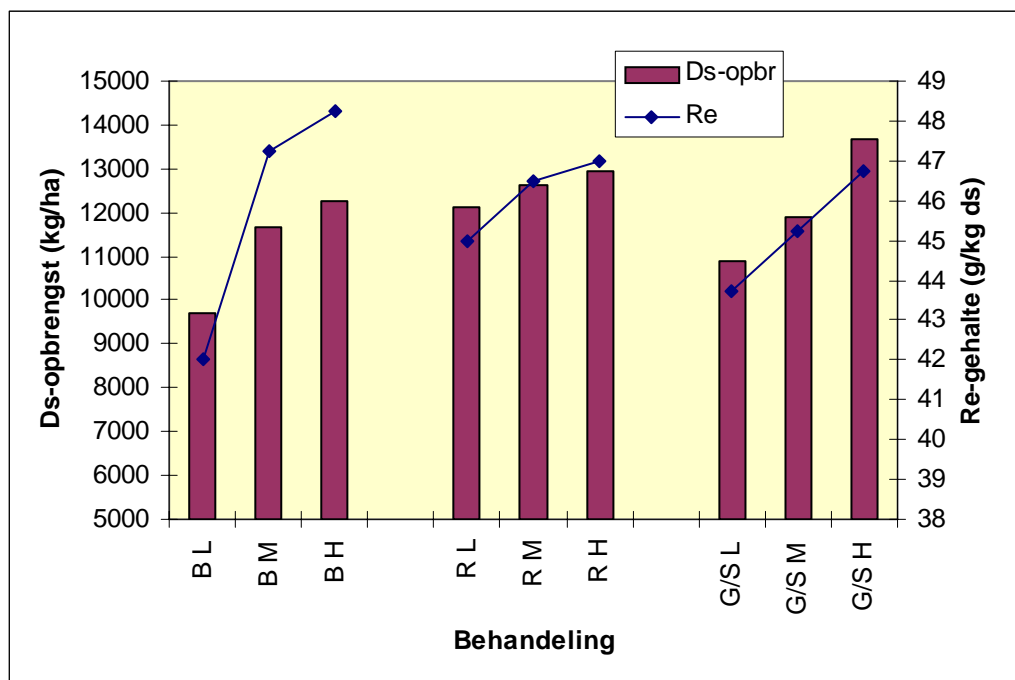
2.2.4 Effect op gewasopbrengst en kwaliteit

In figuur 2 is de invloed van winterbeheer en bemestingsniveau op de drogestofopbrengst en het ruw eiwitgehalte van snijmais weergegeven. Zowel de drogestofopbrengst als het ruw eiwitgehalte werden significant beïnvloed door het bemestingsniveau ($p < 0,001$). Bij de drogestofopbrengst verschilden de drie niveaus van elkaar. De drogestofopbrengsten van de drie bemestingsniveaus waren van laag naar hoog resp. 10,9, 12,1 en 13,0 ton/ha. De gemiddelde opbrengst lag daarmee, zeker voor proefveldbegrippen, op een matig niveau. Deze resultaten komen goed overeen met onderzoek van Schröder et al., 2001 waarin men op basis van stikstofnawerking uit organische stof concludeerde dat het bemestingsverleden een grote invloed heeft op de opbrengst. Gemiddeld was er geen significant effect van winterbeheer op de drogestofopbrengst, ondanks dat er tussen enkele behandelingen een aanzienlijk verschil zat. Dit had deels te maken met de relatief grote spreiding in opbrengst binnen de winterbeheerbehandelingen. De Lsd (kleinste significante verschil) voor deze factor was 1750 kg ds/ha. Alleen bij het lage bemestingsniveau was er een aantoonbaar verschil tussen Braak en Rogge van

2400 kg droge stof. Bij het middelste bemestingsniveau was het verschil circa 1 ton droge stof. Dit was echter om genoemde reden niet significant.

Het ruw eiwitgehalte was gemiddeld in deze proef laag. Het varieerde van 42 tot 48 g/kg ds. Het gehalte van het lage bemestingsniveau was significant verschillend van de beide andere niveaus. Het lage bemestingsniveau had een ruw eiwitgehalte van 43,5 g/kg ds, terwijl het gehalte van de beide andere niveaus gemiddeld 47 g/kg ds was. Het winterbeheer en bemestingsniveau hadden geen effect op het zetmeelgehalte. Dit komt overeen met ervaringen van diverse bemestingsproeven met maïs uit het verleden, waaruit blijkt dat het zetmeelgehalte over het algemeen nauwelijks wordt beïnvloed door het bemestingsniveau (Van Schooten, 2006).

Figuur 2 Effect winterbeheer en bemestingsregime op opbrengst en ruw eiwitgehalte van snijmaïs



B=Braak+drijfmest, R=Nateelt rogge+drijfmest, G/S=Eerst grasonderzaai+drijfmest en later stalmest+rogge
L,M,H=Bemestingsniveau resp. Laag, Midden, Hoog

2.2.5 Samenhang tussen behandelingen, bodemparameters en gewasopbrengst

Bij de weergave van de samenhang tussen de verschillende bodemparameters moeten we vooraf opmerken dat aangenomen mag worden dat de uitgangssituatie van de bodemkarakteristieken bij de start van de proef in 1988 behoorlijk homogeen was. Het is dus waarschijnlijk dat de samenhang tussen de individuele kenmerken sterk beïnvloed is door de aangelegde behandelingen (winterbeheer en bemestingsniveau). De correlaties tussen bodemkenmerken van dit onderzoek kunnen dus wezenlijk verschillen ten opzichte van correlaties over grondsoorten heen. Omdat het organische bemestingsniveau en het winterbeheer te maken hebben met aanvoer van organische stof, mogen we verwachten dat daaraan gerelateerde kenmerken ook worden beïnvloed. Het is daarbij lastig om een uitspraak te doen over de belangrijkheid voor de gewasopbrengst, omdat de verschillende kenmerken niet individueel zijn gevarieerd.

Chemische bodemparameters, laag 0-25 cm

In figuur 3 is de samenhang tussen de diverse significante bodemparameters laag 0-25 cm, de gewasparameters en de verschillende behandelingen weergegeven. Per bodemparameter is een pijl weergegeven. Het vertrekpunt van de pijlen wordt gevormd door het multivariate (over alle parameters heen) punt van een denkbeeldige experimentele eenheid (veldje) met een gemiddelde waarde voor alle parameters. De richting van de pijlen geeft de positieve waarden ten opzichte van de gemiddelden van de parameters weer. Daarnaast is van elk veldje het multivariate gemiddelde berekend. Dit gemiddelde is uitgezet in de grafiek met een label van de bijbehorende behandeling. De grafiek geeft op deze manier snel inzicht over kenmerken heen in hoeverre de verschillende behandelingen zijn gesegregeerd.

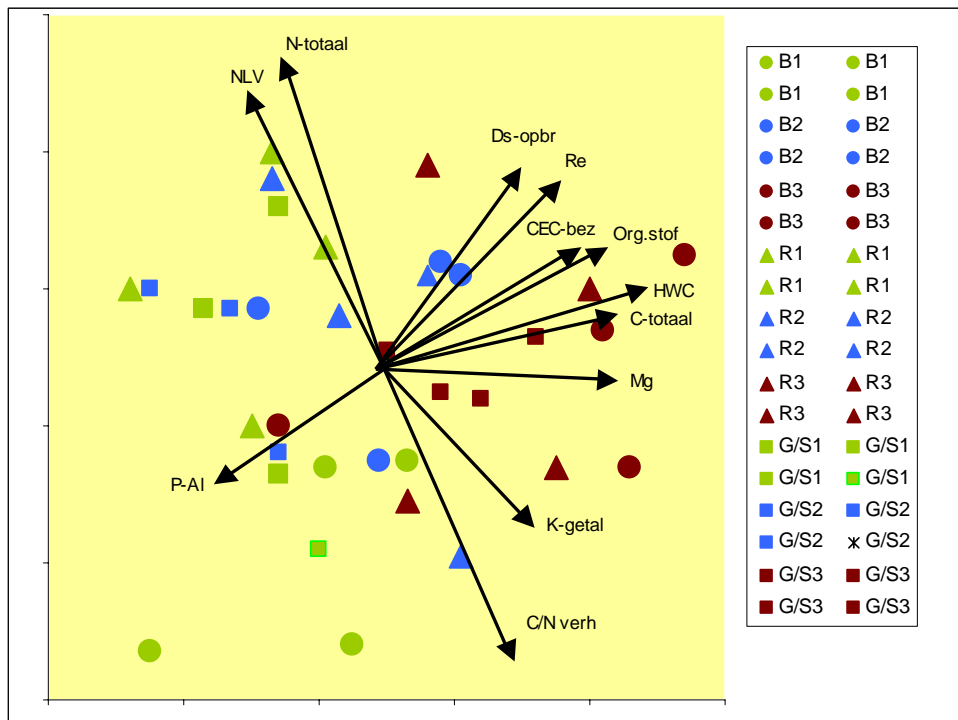
Uit de figuur blijkt dat er een redelijk goed onderscheid is te maken tussen de bemestingsniveaus (hoge bemestingsniveaus zijn rechts gesitueerd en de lagere links), maar dat de verschillende

winterbeheerbehandelingen behoorlijk door elkaar heen liggen. Dit komt overeen met de constatering dat het bemestingsniveau meer bodem- en gewasparameters beïnvloedde dan het winterbeheer. Zo werden gewasopbrengst en het gehalte aan organische stof, de CEC bezetting, de HWC-waarde en C-totaal gehalte positief beïnvloed door een hoger bemestingsniveau (zie ook paragraaf 2.2.2).

Uit figuur 3 blijkt dat er een sterke samenhang bestond tussen N-totaal en NLV ($R = 0,98$). Zie voor correlatiecoëfficiënten bijlage 4. Deze samenhang is het logische gevolg van het feit dat de NLV uit N-totaal wordt berekend. De correlatie tussen het organische stofgehalte en CEC-waarde was dusdanig hoog ($R = 0,999$) dat de pijlen op elkaar lagen. Ook de parameters CEC- bezetting, HWC-gehalte en C-totaal vertoonden een positieve correlatie met het gehalte aan organische stof ($R =$ resp. 0,77, 0,55 en 0,55).

Tevens blijkt dat de maïsoopbrengst een vrij sterke samenhang vertoonde met de bodemparameters organische stofgehalte, CEC bezetting en HWC-gehalte ($R =$ resp. 0,50, 0,51 en 0,51).

Figuur 3 Samenhang tussen gewas- en bodemparameters 0-25 cm en de verschillende behandelingen (vier herhalingen)

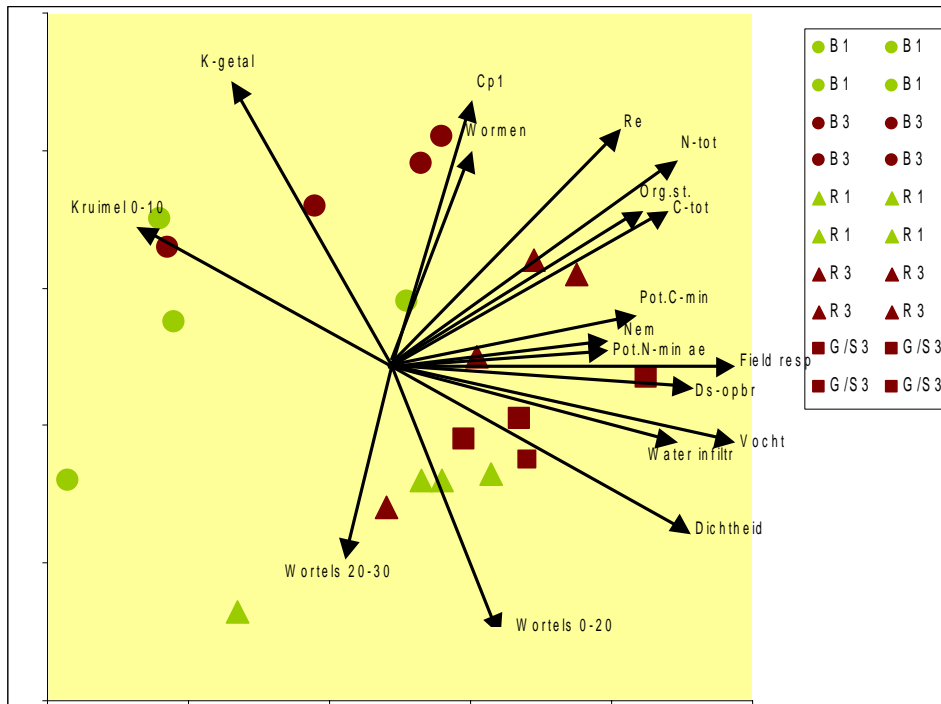


Fysische en biologische bodemparameters, laag 0-10 en/of 0-20 cm

In figuur 4 is de samenhang tussen de behandelingen die voor dit onderdeel zijn meegenomen en de significante bodemparameters 0-10 cm en gewasparameters op dezelfde wijze weergegeven als bij de bodemparameters 0-25 cm. Uit de figuur blijkt dat er een redelijk goed onderscheid is te maken tussen de bemestingsniveaus. De lage bemestingsniveaus zijn vooral links onder gesitueerd en de hoge vooral rechtsboven. Ook de verschillende winterbeheerbehandelingen zijn goed te onderscheiden. De Braakbehandelingen zijn linksboven gesitueerd terwijl de behandelingen Rogge en de combinatie behandelingen Gras/Stalmest rechtsonder staan. Verder blijkt dat de meeste bodemparameters en de gewasparameters (opbrengst en re-gehalte) vooral positief werden beïnvloed door het hoge bemestingsniveau. In paragraaf 2.2.3 is dit voor de verschillende parameters al kwantitatief weergegeven.

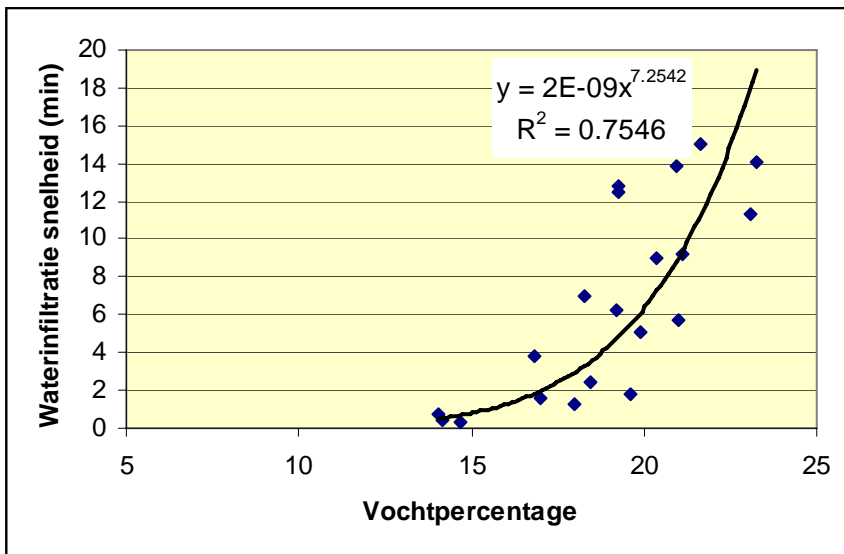
Voor de bodemparameters valt op dat er een vrij sterke correlatie bestond tussen het organische stofgehalte en N-totaal en C-totaal ($R =$ resp. 0,83 en 0,90). Met name de samenhang van N-totaal valt op omdat er in de laag 0-25 cm praktisch geen samenhang was tussen het gehalte aan N-totaal en organische stof. Daarnaast bestond er ook een positieve samenhang met de veldrespiratie, het vochtgehalte en de N-mineralisatie ($R =$ resp. 0,60, 0,62 en 0,59). Indicatoren van C-mineralisatie waren vrij slecht gerelateerd met het organische stofgehalte. Het vochtgehalte en waterinfiltratie waren sterk gerelateerd ($R = 0,93$). In figuur 5 is de relatie tussen vochtgehalte en waterinfiltratie nog eens expliciet weergegeven.

Figuur 4 Samenhang tussen gewas- en bodemparameters 0-10 en verschillende behandelingen (vier herhalingen)



De bodemparameters veldrespiratie, water infiltratie en vochtgehalte waren sterk positief gecorreleerd met de opbrengst ($R =$ resp. 0,80, 0,83 en 0,87). Daarnaast vertoonden ook N-totaal en potentiële N-mineralisatie anaëroob een positieve correlatie met de drogestofopbrengst ($R =$ resp. 70 en 79). Evenals in de laag 0-25 cm was er een redelijke samenhang tussen het organische stofgehalte en de drogestofopbrengst ($R = 0,62$). Opvallend is ook dat het aantal nematoden vrij sterk positief gecorreleerd was met de drogestofopbrengst ($R = 0,81$) ondanks dat het gemiddelde aantal laag was. Uit figuur 4 blijkt dat het percentage kruimel sterk negatief is gecorreleerd met de drogestofopbrengst ($R = -0,84$). Dit druist in tegen de algemene aanname dat een hoger aandeel kruimels positief is voor de opbrengst. In paragraaf 2.2.3 is al ingegaan op het effect dat de kruimelstructuur onder Braak duidelijk hoger was dan onder Rogge en de vraagtekens gezet zijn bij de methode van structuurbeoordeling. Dit aspect heeft hier ook mee te maken.

Figuur 5 Relatie tussen vochtgehalte en snelheid van waterinfiltratie van de bodem



3 Modelsimulatie en toetsing

Voor het voorspellen van de ontwikkeling van het organische stofgehalte met behulp van modelberekeningen is gebruik gemaakt van de modellen NDICEA van het Louis Bolk Instituut (LBI) en MINOS van het Nutriënten Management Instituut (NMI). De uitkomsten van de berekeningen zijn vergeleken met de gemeten waarden van dit onderzoek.

Vooraf kunnen bij de scenarioberekeningen een aantal opmerkingen worden gemaakt. De uitkomsten van de metingen van de organische stofgehalten laten door de jaren heen een vrij wisselend beeld zien. Daarnaast ontbreekt van enkele jaren de samenstelling van de mest en ontbreekt van meerdere jaren de opbrengst van groenbemesters. Dit maakt dat de vergelijking tussen de berekende en gemeten waarden beperkt interpreteerbaar zijn.

3.1 NDICEA

Uitgangspunten

Voor de modelberekening is uitgegaan van een bouwvoor van 25 cm dikte (daar waar de grond regelmatig gemengd wordt met vers organische materiaal) met een percentage organische stof zoals gemeten in de laag 0-20 cm van 3,1% en met een C/N van 17. Dit komt neer op een uitgangssituatie (1988) van 108.000 kg/ha bodem organische stof voor alle varianten. Deze aanname kan een geringe over- of onderschatting van de hoeveelheid bodem organische stof van model ten opzichte van werkelijkheid inhouden. De invloed hiervan op de uitkomsten is gering omdat de vraagstelling zich met name richt op toe- of afname van de bodem organische stof door behandelingen en niet op de absolute niveaus. Het absolute niveau heeft slechts geringe invloed op de toe- of afname, tenzij het absolute niveau substantieel verschilt tussen meting en modellering.

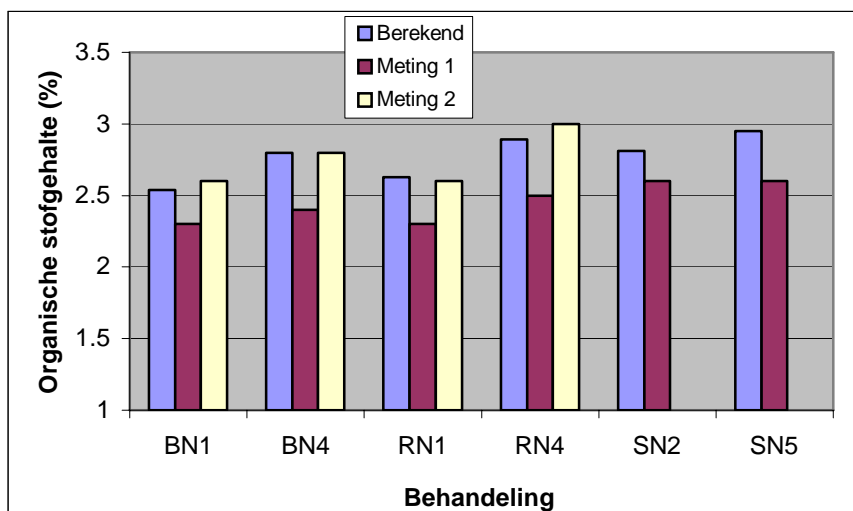
Er waren alleen gemeten opbrengstgegevens van de groenbemesters bekend van de periode 1988 tot 1994. Voor de berekeningen buiten dit tijdvak is de opbrengst van de groenbemesters bij bemeste varianten standaard op 1500 kg droge stof gezet en bij onbemeste varianten op 1000 kg droge stof. Mogelijk zijn, gezien de metingen in het tijdvak 1988 – 1992, de opbrengsten van de groenbemesters overschat. Het programma NDICEA heeft een maximum bereik van 10 jaar. Daarom is er in twee sessies doorgerekend: van 1988 tot en met 1995 en van 1996 tot en met 2002. Daarbij is de eindsituatie wat betreft de bodem van 1995 gebruikt als input voor 1996. De reden voor de periodekeuze is dat voor de periode 1988 – 1995 gebruik is gemaakt van de weerdataset in NDICEA die overeenkomt met De Bilt 1985. Voor de periode 1996 – 2002 is gebruik gemaakt van regionale weersgegevens. Voor het eerste tijdvak is vooral het verschil van belang tussen de percelen met en zonder organische mest (BN 1 versus BN 4; RN 1 versus RN 4), en het verschil tussen wel en niet groenbemester (BN 1 versus RN 1; BN 4 versus RN 4). Voor het tweede tijdvak komt daar het verschil tussen vaste mest en dunne mest (RN4 versus SN 2 en SN 5) bij.

Resultaten

Er zijn modelberekeningen uitgevoerd voor de behandelingen BN1, BN4, RN1 RN4, SN2 en SN5. De berekende waarden zijn in figuur 6 uitgezet tegen de gemeten waarden in 2002 (Bruinenberg et al., 2004). In bijlage 6 is een tabel met een samenvatting van de resultaten uit de modelberekeningen met de bijbehorende gemeten waarden weergegeven.

Vergelijking gemeten en berekende bodem organische stof

Uit figuur 6 blijkt dat de gemeten gehalten aan organische stof van september 2002 (meting 1) structureel lager zijn dan de berekende gehalten. De verschillen tussen de behandelingen vertonen bij de gemeten gehalten en de berekende gehalten wel gelijkgerichte tendensen. In 2002 zijn in oktober in verband met een mogelijke meetfout bij een van de behandelingen een aantal behandelingen opnieuw bemonsterd voor bepaling van het organische stofgehalte (meting 2). Het niveau van deze meting 2 komt beter overeen met de berekende waarden dan die van meting 1 en ook de onderlinge verschillen zijn vergelijkbaar. Onduidelijk is wat de oorzaak is van het verschil tussen de meting in september (meting 1) en in oktober (meting 2).

Figuur 6 Berekende organische stofgehalten met NDICEA en gemeten organische stofgehalten (september 2002)

Tendensen

Op basis van de gemiddelde metingen en de berekeningen is er in het algemeen sprake van een duidelijke daling van het organische stofgehalte. De enige uitzondering is de stalmestvariant met 30 ton die de laatste 7 jaar niet gedaald is. Op basis van de metingen resulteert structurele inzet van groenbemesters gedurende 15 jaar in een verschil in bodem organische stof van 0,0 tot 0,2% (metingen september 2002). De modelberekeningen komen uit op een verschil van gemiddeld 0,09%. De inzet van 50 ton dunne mest gedurende 7 jaren leidde ten opzichte van geen mest volgens de septembermeting tot een verschil van 0,1 tot 0,2%. De oktobermeting laat verschillen zien van 0,2 tot 0,4%. Het resultaat van de modelberekeningen ligt met een gemiddeld verschil van 0,26% daar ongeveer tussenin.

Wanneer we vaste mest vergelijken met drijfmest, is het organische stofgehalte van 30 ton vaste mest ten opzichte van 50 ton dunne mest in 7 jaar 0,1% hoger (RN4 versus SN5, meting september). De modelberekening komt uit op een verschil van 0,06% ten gunste van de vaste mest. Een jaarlijkse gift van 15 ton vaste mest is volgens modelberekening te weinig om het organische stofgehalte op peil te houden. De septembermeting laat een gelijk organische stofgehalte zien voor 15 en 30 ton. Dat is tegen de verwachting omdat op basis van de tabelwaarde voor effectieve organische stof van vaste mest 15 ton extra per jaar tot een stijging van het organische stof gehalte zou moeten leiden.

Discussie

De modelberekeningen geven een consistent beeld, de metingen van de bodem organische stof in mindere mate. Er is wel voldoende overlap tussen metingen en berekeningen wat betreft de tendensen (toename of afname, in dit geval afname) en de grootteorde van de afname; de absolute grootte is wel verschillend.

Het model is ingezet zonder dat er sprake is van ijkmogelijkheden. Een van de ijkmogelijkheden zou zijn de metingen van de N-mineraal in de bouwvoor te gebruiken omdat het model gericht is op de stikstofdynamiek. Aangezien stikstofmineralisatie deels een "bijproduct" is van mutaties in bodem organische stof biedt het enig houvast. Gebruik van N-mineraal metingen in de modellering is ook van belang indien er een relatie met de (potentiële) opbrengst gelegd wil worden. Aangezien de stikstofinhoud van de maïs bij de oogst bekend is, kan dit goed geëvalueerd worden. De uitkomsten van de modellering worden met deze toets met N-mineraal naar verwachting veel robuuster en bruikbaar.

3.2 MINOS

Uitgangspunten

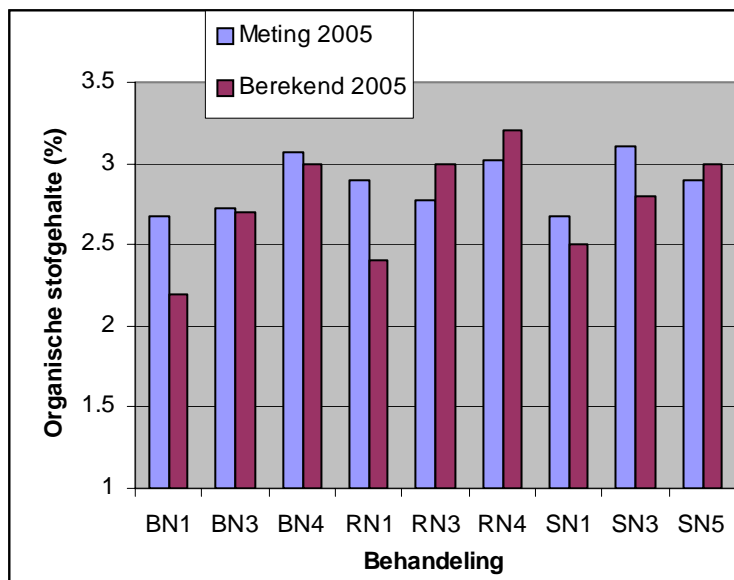
De berekeningen zijn gedaan met het rekenmodel MINOS van NMI. Dit model is gebaseerd op de rekenregels van Minip (Janssen, 1984), aangevuld met experimenteel afgeleide parameters (Hanegraaf en Bussink, 2005, in prep.). De benodigde basisgegevens voor de scenario's zijn afkomstig uit de rapportages Schröder et al., 1992, Van Dijk et al., 1995 en Bruinenberg et al., 2004. De berekeningen beslaan de periode januari 1988 t/m december 2004. Alle objecten hadden dezelfde startwaarde voor het organische stofgehalte van 3,1%. Dit organische stofgehalte is omgerekend naar een koolstofgewicht in de bouwvoor (0-20 cm), uitgaande van een

bulkdichtheid van 1365 kg/m³ en een C% in de organische stof van 0,56%. Dit betekent dat het koolstofgewicht in de bouwvoor bij aanvang 47407 kg C bedraagt.

Resultaten

Met het model is de ontwikkeling in de koolstof (C)-gehalten gedurende de zestienjarige periode berekend. Van daaruit is het uiteindelijke organische stofgehalte berekend. Het uiteindelijke resultaat is vergeleken met de gemeten resultaten en uitgezet in figuur 7. Een voorbeeld van het verloop van de hoeveelheid koolstof en een samenvatting met van de berekende resultaten is weergegeven in bijlage 7 .

Figuur 7 Vergelijking berekende en gemeten organische stofgehalten



Bij de uitkomsten van de modelberekeningen maken we een aantal opmerkingen. Volgens de berekeningen daalt het organische stofgehalte in alle objecten, met maximaal 0,9% tot een gehalte van 2,2% bij behandeling BN1. Aangezien het om beperkte dalingen gaat, hoeft deze in de grondanalyses niet tot uitdrukking te komen, gelet op de bij deze bepaling horende meetfout. Behandelingen BN1, RN1 en SN1 ontvangen geen organische mest. Aanvoer van organische stof vindt alleen plaats bij RN1 en SN1 in de vorm van groenbemesters. Daardoor heeft BN1 uiteindelijk het laagste organische stofgehalte. Bij behandeling BN3 vindt gedurende 6 van de 16 jaren een hogere aanvoer plaats van organische mest dan bij BN1. Dit is terug te vinden in een hoger organische stofgehalte. Hetzelfde geldt in sterkere mate voor behandeling BN4 ten opzicht van BN2. Ook bij de series RN3 – RN4 en SN3 – SN5 is het effect van 6 jaar meer organische mest duidelijk. Verwacht wordt dat verschillen tussen groenbemesters vooral naar voren komen bij de behandelingen met geen of weinig organische mest. RN1 en SN1 hebben inderdaad hogere organische stofgehalten dan BN1. Tussen BN4 en SN5 is echter geen verschil in berekend organische stofgehalte. Mogelijk wordt het effect van de groenbemester in SN5 overschaduw door het effect van de aanvoer van organische mest.

Het gemiddeld niveau van de berekende en de gemeten organische stofgehalten lag vrij dicht bij elkaar. De gemiddelde berekende en gemeten organische stofgehalten waren resp. 2,76 en 2,87. Het verschil tussen de behandelingen is tussen de berekende en de gemeten gehalten echter niet eenduidig. Dit wordt vooral veroorzaakt doordat met name bij winterbeheren B en R het organische stofgehalte van het lage bemestingsniveau (N1) door het model duidelijk lager is ingeschat dan de werkelijk gemeten waarde. Het organische stofgehalte van grond daalde bij continueelt van snijmaïs. De aanvoer van organische stof met organische mest had een berekenbare positieve invloed op het organische stofgehalte in grond. Een extra positieve invloed van stalmest ten opzichte van runderdrijfmest kon echter niet worden aangetoond. Mogelijk komt dit door onvolkomenheden in de dataset voor de afbraaksnelheid van organische mesten.

4 Conclusies

Het onderzoek naar de effecten van organische bemesting en de toepassing van een groenbemester op de bodemkwaliteit bij continueelt van snijmaïs is uitgevoerd op één locatie op een zandgrond. Bij de interpretatie van de conclusie moet dan ook rekening worden gehouden met de specifieke omstandigheden van deze ene zandgrond. In onderstaande conclusies wordt met effect van bemestingsniveau en winterbeheer/groenbemester bedoeld het effect van in het verleden toegepaste bemestingsniveaus en winterbeheer/groenbemester. De effecten van bemestingsniveaus en winterbeheer op gewasopbrengst zijn gemeten bij een bemestingsniveau van 40 m³ biologische runderdrijfmest per ha.

Effect bemestingsniveau en winterbeheer op bodemparameters en maïsopbrengst

- De aanvoer van effectieve organische stof uit mest was beduidend hoger dan de aanvoer uit de groenbemers. De aanvoer uit groenbemers was gemiddeld 300 tot 450 kg/ha, terwijl bij een jaarlijkse drijfmestgift van 30-40 ton/ha de aanvoer circa 1300 kg/ha was.
- De chemische bodemparameters werden vooral beïnvloed door het bemestingsniveau. De gehalten aan organische stof, de CEC-waarde, het kali-getal en het magnesiumgehalte waren ten opzichte van het laagste bemestingsniveau (geen mest) alleen hoger bij het hoogste bemestingsniveau (40-50 ton/ha). Bij het middelste bemestingsniveau (30-35 ton/ha) waren ook de gehalten C-totaal en HWC hoger dan laagste bemestingsniveau. In tegenstelling tot de andere parameters was de P-AI van het laagste bemestingsniveau hoger dan van de beide andere niveaus. Alleen kali en magnesium werden ook beïnvloed door het winterbeheer, waarbij winterbraak de hoogste gehalten gaf. De verschillen waren praktisch gezien echter klein.
- Algemeen was naast het gehalte aan organische stof ook het niveau van C-mineralisatie en N-mineralisatie laag. Het niveau was vergelijkbaar met de behandeling van 39 jaar continueelt snijmaïs in de vruchtwisselingproef van de Universiteit van Gent. Het hoge bemestingsniveau had een positief effect op de C-mineralisatie en de N-mineralisatie. Winterbeheer met rogge had alleen een positief effect op de C-mineralisatie.
- Fysische indicatoren werden met name beïnvloed door het winterbeheer. In tegenstelling tot de verwachting sprong de winterbraak er gemiddeld positief uit. Winterbraak resulteerde in vergelijking tot winterbeheer met rogge in een lagere dichtheid, een lagere indringingsweerstand en een betere structuur.
- De bodembioïologische activiteit was gemiddeld laag en vergelijkbaar met de behandeling van 39 jaar continueelt snijmaïs in de vruchtwisselingproef van de Universiteit van Gent. Het winterbeheer en bemestingsniveau veranderden daar weinig aan.
- Het gebruik van 5 jaar stalmest had een beperkte invloed op de bodemkwaliteit. Alleen de C-mineralisatie gemeten volgens de CO₂-Gaia methode was hoger vergeleken met drijfmesttoepassing.
- Het in het verleden toegepaste bemestingsniveau had een duidelijk effect op de maïsopbrengst bij een actueel bemestingsniveau van 40 m³ biologische runderdrijfmest per ha. Een effect van een groenbemester op de opbrengst kon alleen worden aangetoond bij de behandeling waarop in het verleden geen mest was toegediend.

Samenhang tussen bodemparameters onderling en tussen bodemparameters en maïsopbrengst

- Bij de chemische bodemparameters (laag 0-25 cm) was er een duidelijke samenhang tussen het organische stofgehalte, de CEC-waarde, de CEC-bezetting, het HWC-gehalte en het gehalte aan C-totaal. N-totaal was alleen in de laag 0-10 cm gecorreleerd met het organische stofgehalte.
- Bij de fysische en biologische parameters (laag 0-10 cm) bestond er een positieve correlatie tussen het organische stofgehalte, de veldrespiratie (CO₂-veld), de waterinfiltratiesnelheid en de potentiële stikstofmineralisatie.
- Van de chemische bodemparameters vertoonden het organische stofgehalte, de CEC-bezetting en het HWC-gehalte een vrij sterke samenhang met de maïsopbrengst. Daarnaast vertoonden van de fysische en biologische bodemparameters de veldrespiratie, de waterinfiltratiesnelheid, het N-totaal gehalte en de potentiële N-mineralisatie een vrij sterke samenhang met de maïsopbrengst.
- Op basis van het onderzoek naar de samenhang tussen de bodemkenmerken kon geen uitspraak worden gedaan over de volgorde van belangrijkheid ervan op de gewasopbrengst, omdat de opzet van de gebruikte bestaande proef zich daar niet voor leende.

Modelberekeningen

- Met de rekenmodellen kon een verandering in organische stofgehalte van de bodem worden berekend voordat dit in de meetwaarde tot uitdrukking kwam. In dit onderzoek kwamen de berekende waarden van het NDICEA model wat beter overeen met de gemeten waarden dan van het MINOS model.
- Zowel uit de metingen als uit de berekeningen met de modellen bleek dat de inzet van groenbemester (rogge) over een periode van 15 jaar bij een geschatte gemiddelde opbrengst van 1000-1500 kg ds/ha een beperkte bijdrage leverde aan het organische gehalte (0-0,2%). Organische stof uit groenbemesters draagt vooral bij lagere mestgiften bij aan het dempen van de daling van het organische stofgehalte.

5 Praktijktoeepassingen

Uitgaande van een bodem met organische stofgehalte van 2,5 –3% en een afbraakpercentage van 3% wordt in bouwland bij een bouwvoordikte van 25 cm al gauw circa 2500 kg organische stof afgebroken. Om deze afbraak te compenseren moet men meer mest geven of een beter geslaagde groenbemester telen dan in de meerjarige proef van dit onderzoek of er moeten aanvullingen plaatsvinden met andere vormen van organisch materiaal. Meer dan 35 m³/ha runderdrijfmest is in het nieuwe mestbeleid niet mogelijk. Met het huidige sortiment aan snijmaïsrassen is het waarschijnlijk wel mogelijk om wat meer organische stofaanvoer uit groenbemesters te halen dan de 320 kg/ha die gemiddeld in de veldproef is gerealiseerd, wanneer de groenbemester consequent direct na de maïsoogst wordt ingezaaid.

Uit het resultaat van het onderzoek dat het hoge meerjarige bemestingsniveau een (gering) hoger organische stofgehalte had dan het lage bemestingsniveau, kunnen we niet concluderen dat met dergelijke mestgiften (40-50 m³/ha) het organische stofgehalte verhoogd wordt in de tijd omdat zoals hierboven is aangegeven de aanvoer van effectieve organische stof daarmee nog steeds lager is dan de afbraak. De conclusie moet zijn dat het organische stofgehalte minder lager is geworden, zoals ook uit de rekenmodellen is gebleken.

In de praktijk houdt men bij het opstellen van een organische stofbalans vaak rekening met een hoeveelheid organische stofaanvoer uit de groenbemester rogge en Italiaans raaigras van resp. 850 en 1100 kg per ha. Deze waarden zijn waarschijnlijk voor de toepassing bij snijmaïsteelt te hoog. Men kan beter uitgaan van de helft hiervan.

De fysische bodemkenmerken werden met name beïnvloed door het winterbeheer. In tegenstelling tot de verwachting sprong de winterbraak er gemiddeld positief uit. Wel droogt de grond onder braak aan het einde van de winter sneller uit (in dit geval half april). Een groenbemester kan op het einde van de winter het vocht beter vasthouden. Op droogtegevoelige percelen kan dat gunstig zijn, mits de groenbemester op tijd geoogst wordt, voordat de verdamping van het gewas een belangrijke rol gaat spelen.

De bodembioologische activiteit was in de veldproef gemiddeld laag en het winterbeheer en bemestingsniveau veranderden daar maar weinig aan. Het toepassen van vruchtwisseling is hoogstwaarschijnlijk de enige maatregel die daar verandering in positieve zin in kan brengen.

Het effect van meerjarige teelt van een groenbemester op de gewasopbrengst bleek afhankelijk te zijn van het bemestingsniveau in het verleden. Het effect varieerde van nauwelijks een effect bij een bemestingsniveau van 40-50 m³ per ha tot 2400 kg ds per ha bij geen bemesting. De bijdrage van een groenbemester zal daarom binnen het nieuwe mestbeleid steeds belangrijker worden om de opbrengst op peil te houden.

Uit het onderzoek naar de samenhang tussen de bodemkenmerken kon geen uitspraak worden gedaan over de volgorde van belangrijkheid op de gewasopbrengst. Verschillende bodemkenmerken beïnvloeden elkaar en het is soms lastig om oorzaak en gevolg te onderscheiden. In het algemeen is wel duidelijk dat organische stof een centrale rol speelt bij bodemkwaliteit. Vooralsnog is het voor de praktijk dan ook belangrijk om zich te richten op voldoende aanvoer van organische stof.

Met de rekenmodellen kon een verandering in organische stofgehalte van de bodem worden berekend voordat dit in de meetwaarde tot uitdrukking kwam. Voor de praktijk kunnen de rekenmodellen daarom samen met een organische stofbalans een goed hulpmiddel zijn voor een tijdige waarschuwing van een mogelijke daling van het organische stofgehalte.

Referenties

Adviesbasis bemesting grasland en voedergewassen, 2002. Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen, Lelystad.

Aarts, H.F.M., G.J. Hilhorst, F. Nevens en J.J. Schröder, 2003. Betekenis wisselbouw voor melkveebedrijf op lichte zandgrond. Wageningen, Wageningen UR/CLM: project De Marke: 19.

Boer, H.C. de, G. André en R.L.M. Schils, 2004. Aanvoer van organische mest op grasland: stikstofterugwinning en effect op chemische bodemkwaliteit. PraktijkRapport Rundvee 60, Animal Sciences Group, Lelystad, 46 pp.

Bruinenberg, M., H. van Schooten en W. van Dijk, 2004. Langetermijneffecten van gereduceerde mestgiften op maïsland 1996-2002. Intern Rapport 51, Animal Sciences Group, Lelystad.

Corré, W.J., J. Oenema, J. Verloop en G.J. Hilhorst, 2004. Bodemvruchtbaarheid op De Marke; Ontwikkelingen bij aangepast mineralenbeheer en gevolgen voor productiviteit. Wageningen, Wageningen UR/CLM: project De Marke: 50.

Dijk, W. van, J.J. Schröder, L. ten Holte en W.J.M. de Groot, 1995. Effecten van wintergewassen op verliezen en benutting van stikstof bij de teelt van snijmaïs. Verslag van onderzoek op ROC Aver-Heino tussen voorjaar 1991 en najaar 1994. Verslag 201, PAGV, Lelystad, 97 pp.

Eekeren, N. van, E. Heeres en F. Smeding, 2003. Leven onder de graszode. Discussiestuk over het beoordelen en beïnvloeden van bodemleven in de biologische melkveehouderij. LBI, Driebergen, 149 pp.

Eekeren, N. van, 2006. Persoonlijke mededelingen.

Gabriel, K.R., 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, 58, 453.

Ghani, A., M. Dexter and K.W. Perrott, 2003. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil biology & biochemistry* 35, 1231-1243.

Hanegraaf, M.C., 2006. Persoonlijke mededelingen.

Hanegraaf, M.C. en M. de Visser, 2004. Naar een betere bodemkwaliteit op zandgrond. PraktijkRapport Rundvee 50, Animal Sciences Group, Lelystad, 86 pp.

Hanegraaf, M.C. et al. (in prep.) Indicatoren voor de kwaliteit van organische stof.

Hanegraaf, M.C. en D.W. Bussink (in prep.) Afbraaksnelheid van organische stof als functie van bodem en gewas.

Janssen, B.H., 1984. A simple method for calculating decomposition and accumulation of young soil organic matter. *Plant and soil* 76; 297-304.

Laarhoven, G.C.P.M. van, M.W.J. Stienezen, H. Everts en A. van den Pol-van Dasselaar, 2003. Voorjaarsgebruik vanggewassen. PraktijkRapport Rundvee 41, Animal Sciences Group, Lelystad, 16 pp.

Loveland, P. and J. Webb, 2003. "Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review." *Soil & Tillage Research* 70: 1-18.

Nevens, F. and D. Reheul, 2001. "Crop rotation versus monoculture; yield, N yield and ear fraction of silage maize at different levels of mineral N fertilization." *Netherlands Journal of Agricultural Science* 49: 405-425.

Pronk, A.A., J.J. Schröder en R. Booij, 2002. Verslag van de workshop 'Bodemkwaliteit', Wageningen, 20 september 2002, Rapport 54, PRI, Wageningen, 36 pp.

Reuler, H. van (in prep.). Definitiestudie. Boskoop, PPO.

Schooten, H.A. van, 2006. Persoonlijke mededelingen.

Schröder, J.J., L. ten Holte, W. van Dijk, W.J.M. de Groot, W.A. de Boer en E.J. Jansen, 1992. Effecten van wintergewassen op de uitspoeling van stikstof bij de teelt van snijmaïs. Verslag 148, PAGV, Lelystad, 105 pp.

Schröder, J.J., 1998. Towards improved nitrogen management in silage maize production on sandy soils. Wageningen, Wageningen Agricultural University.

Schröder, J.J., H. van Schooten, W. van Dijk en M. Bruinenberg, 2005. De stikstof-werkingscoëfficiënt van organische mest op maïsland. Wageningen, PRI: 25.

Schröder, J.J., A.G. Jansen en G.J. Hilhorst, 2001. Lange-termijn effect van krappe bemesting bij snijmaïs. Rapport 37, PRI, Wageningen, 39 pp.

Timmer, R.D., G.W. Korthals en L.P.G. Molendijk, 2003. Groenbemesters. Van teelttechniek tot ziekten en plagen. Lelystad, PPO: 60.

Velthof, G.L., P.J. van Erp en J.C.A. Steevens, 1998. Stikstof door groenbemesters en gewasresten. Noodzaak tot verfijning stikstofadvisering. Meststoffen 1997/1998, NMI, Wageningen: 20-28.

Bijlagen

Bijlage 1 Historie van de verschillende behandelingen, Berkendijkproef 1988-2005

		Behandeling														
		BN1	BN2	BN3	BN4	BN5	RN1	RN2	RN3	RN4	RN5	SN1	SN2	SN3	SN4	SN5
1988-1994	Mestsoort ¹		rdm	rdm	rdm	rdm		rdm	rdm	rdm	rdm		rdm	rdm	rdm	rdm
	- ton/ha 1988/89	0	45	45	45	45	0	45	45	45	45	0	45	45	45	45
	- ton/ha 1990/94	0	32	32	32	32	0	32	32	32	32	0	32	32	32	32
	Rijenbemesting N	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Breedwerpig N	0	0	40	80	120	0	0	40	80	120	0	0	40	80	120
	Rijenbemesting P2O5	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Breedwerpig P2O5	60	0	0	0	0	60	0	0	0	0	60	0	0	0	0
	Breedwerpig K2O	300	139	139	139	139	300	139	139	139	139	300	139	139	139	139
	Breedwerpig MgO	30	0	0	0	0	30	0	0	0	0	30	0	0	0	0
	Winterbeheer 1988/1993	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Rogge	Rogge	Rogge	Rogge	Rogge	lt.raaigr	lt.raaigr	lt.raaigr	lt.raaigr	lt.raaigr
	Winterbeheer 1994	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak
1995	Mestsoort ¹		Rdm	Rdm	Rdm	Rdm		Rdm	Rdm	Rdm	Rdm		Rdm	Rdm	Rdm	Rdm
	- ton/ha	0	35	35	35	35	0	35	35	35	35	0	35	35	35	35
	Winterbeheer	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak
1996-1998	Mestsoort ¹		Rdm	Rdm	Rdm	Rdm		Rdm	Rdm	Rdm	Rdm		Rdm	Rdm	Rdm	Rdm
	- ton/ha	0	15	30	50	15	0	15	30	50	15	0	15	30	50	15
	Rijenbemesting N	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Rijenbemesting P2O5	20	20	20	20	0	20	20	20	20	0	20	20	20	20	0
	Breedwerpig P2O5	85	60	35	0	0	85	60	35	0	0	85	60	35	0	0
	Breedwerpig K2O	350	250	150	0	125	350	250	150	0	125	350	250	150	0	125
	Breedwerpig MgO	65	40	0	0	40	65	40	0	0	40	65	40	0	0	40
	Winterbeheer 1996-1998	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Rogge	Rogge	Rogge	Rogge	Rogge	lt.raaigr	lt.raaigr	lt.raaigr	lt.raaigr	lt.raaigr
1999-2002	Mestsoort ¹		Rdm	Rdm	Rdm	Rdm		Rdm	Rdm	Rdm	Rdm		Sm	Sm	Sm	Sm
	Mesthoeveelheid (ton)	0	15	30	50	15	0	15	30	50	15	0	15	15	30	30
	Rijenbemesting N	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	0	0	20	0	20
	Rijenbemesting P2O5	20	20	20	20	0	20	20	20	20	0	20	20	20	20	20
	Breedwerpig P2O5	85	60	35	0	0	85	60	35	0	0	85	55	55	30	30
	Breedwerpig K2O	350	250	150	0	125	350	250	150	0	125	350	200	200	50	50
	Breedwerpig MgO	65	40	0	0	40	65	40	0	0	40	65	30	30	0	0
	Winterbeheer 1999-2002 ²	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Nitrafix	Nitrafix	Nitrafix	Nitrafix	Nitrafix	Nitrafix	Nitrafix	Nitrafix	Nitrafix	Nitrafix
2003	Mestsoort ¹		Rdm	Rdm	Rdm	Rdm		Rdm	Rdm	Rdm	Rdm		Rdm	Rdm	Rdm	Rdm
	- ton/ha	0	15	30	50	15	0	15	30	50	15	0	15	15	30	30
	Winterbeheer	lt.raaigr	lt.raaigr	lt.raaigr	lt.raaigr	lt.raaigr	lt.raaigr	lt.raaigr	lt.raaigr	lt.raaigr	lt.raaigr	lt.raaigr	lt.raaigr	lt.raaigr	lt.raaigr	lt.raaigr
2004	Mestsoort ¹		Rdm	Rdm	Rdm	Rdm		Rdm	Rdm	Rdm	Rdm		Sm	Sm	Sm	Sm
	- ton/ha	0	15	30	50	15	0	15	30	50	15	0	15	15	30	30
	Winterbeheer ²	Braak	Braak	Braak	Braak	Braak	Nitrafix	Nitrafix	Nitrafix	Nitrafix	Nitrafix	Nitrafix	Nitrafix	Nitrafix	Nitrafix	Nitrafix
2005	Mestsoort ¹		Rdm	Rdm	Rdm	Rdm	Rdm	Rdm	Rdm	Rdm	Rdm	Rdm	Rdm	Rdm	Rdm	Rdm
	- ton/ha	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40

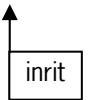
¹⁾ Rdm = Runderdrijfmest Sm = Stalmest

²⁾ Nitrafix = mengsel van 90 % bladrogge en 10 % triticale

Bijlage 2 Proefschaema Berkendijkproef

RN3	RN2	RN1	RN5	RN4	SN4	SN2	SN3	SN5	SN1	BN5	BN2	BN3	BN1	BN4
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
SN3	SN1	SN4	SN2	SN5	BN2	BN4	BN3	BN5	BN1	RN3	RN4	RN5	RN1	RN2
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
BN3	BN2	BN5	BN1	BN4	SN4	SN5	SN1	SN3	SN2	RN1	RN4	RN5	RN3	RN2
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
RN1	RN4	RN5	RN2	RN3	BN3	BN5	BN2	BN4	BN1	SN3	SN2	SN1	SN4	SN5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Berkendijk Proefboerderij →



Behandelingen 2004

Codering	Winterbehandeling	Mestsoort	Hoeveelheid (ton)
BN1	braak	geen	nvt
BN2	braak	drijfmest	15
BN3	braak	drijfmest	30
BN4	braak	drijfmest	50
BN5	braak	drijfmest	15
RN1	nitrafix	geen	nvt
RN2	nitrafix	drijfmest	15
RN3	nitrafix	drijfmest	30
RN4	nitrafix	drijfmest	50
RN5	nitrafix	drijfmest	15
SN1	nitrafix	geen	nvt
SN2	nitrafix	stalmest	15
SN3	nitrafix	stalmest	15
SN4	nitrafix	stalmest	30
SN5	nitrafix	stalmest	30

De grootte van individuele veldjes bedroeg 14 x 6 meter. Hiervan was alleen de binnenste (netto veldje) 12 x 3 meter (vier rijen) bestemd voor opbrengstbepalingen en bemonsteringen.

Bijlage 3 Teeltwerkzaamheden Berkendijkproef 2004 en 2005

Datum	Werkzaamheden
<i>2004</i>	
25-mrt	Vaste mest toegediend
26-mrt	Frezen
27-apr	Drijfmest toegediend
10-mei	Zaai-bedbereiding
11-mei	Maïs gezaaid
5-jul	Schoffelen en aanaarden ¹
21-sep	Maïs oogsten
8-okt	Cultiveren met vaste tand cultivator en inzaai Nitrafix
<i>2005</i>	
21-apr	Groenbemester gebloot
22-apr	Groenbemester met messeneg bewerkt
25-apr	Drijfmest toegediend
3-mei	Geploegd met vorenpakker
23-mei	Maïs gezaaid (Tango)
24-jun	Schoffelen en aanaarden ¹
12-okt	Maïs oogsten

¹ Voor de bestrijding van het onkruid is in 2004 en 2005 het perceel voor en na opkomst van de maïs totaal ook nog tweemaal geëgd. De data zijn echter niet bekend.

Bijlage 4 Correlatiematrix chemische bodemparameters, laag 0-25 cm

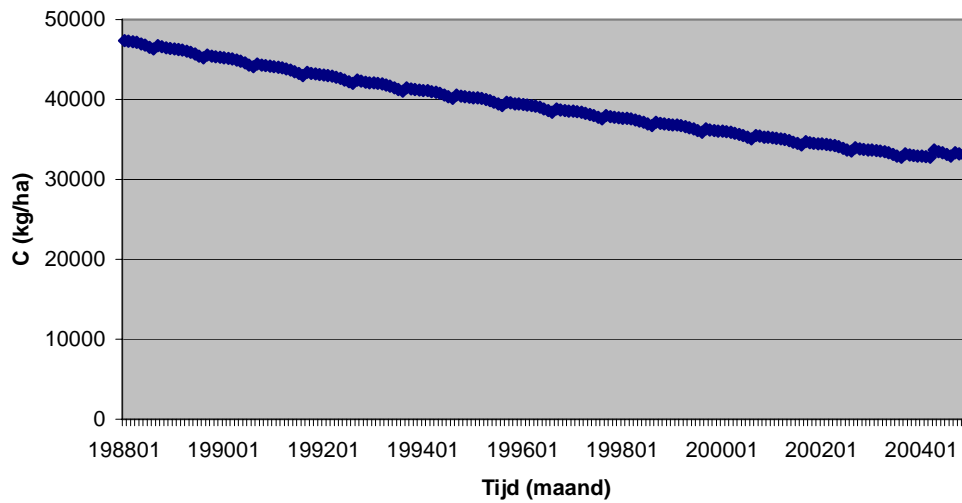
Parameter																			
Org.stofgehalte	1.00																		
pH	0.22	1.00																	
Klei humus (CEC)	1.00	0.23	1.00																
CEC-bezetting	0.77	0.24	0.78	1.00															
C-totaal	0.55	-0.03	0.55	0.38	1.00														
HWC	0.55	0.32	0.54	0.45	0.60	1.00													
C in org.stof	-0.49	-0.26	-0.49	-0.45	0.45	0.05	1.00												
N-totaal	0.00	0.06	0.01	-0.02	-0.02	-0.03	0.00	1.00											
C/N verhouding	0.16	-0.21	0.16	0.11	0.20	0.01	0.01	-0.74	1.00										
N-leverend	-0.21	0.02	-0.20	-0.19	-0.15	-0.14	0.09	0.98	-0.77	1.00									
P- <i>Al</i>	-0.30	0.14	-0.30	-0.03	-0.63	-0.37	-0.35	-0.23	-0.04	-0.15	1.00								
Kaligetal	-0.02	0.06	-0.03	-0.06	0.29	0.42	0.33	-0.26	0.22	-0.24	-0.22	1.00							
S-leverend	-0.09	-0.12	-0.09	-0.09	-0.29	-0.18	-0.19	0.67	-0.58	0.67	-0.11	-0.27	1.00						
Magnesium	0.49	0.53	0.48	0.38	0.49	0.61	-0.01	-0.16	0.16	-0.25	-0.12	0.44	-0.14	1.00					
Mangaan	0.29	-0.05	0.30	0.32	0.09	0.06	-0.22	0.09	0.04	0.03	-0.06	-0.35	-0.18	-0.30	1.00				
Zink	-0.07	0.79	-0.06	0.05	-0.11	0.18	-0.02	0.11	-0.27	0.14	0.11	0.09	-0.24	0.11	0.19	1.00			
Koper	0.28	0.14	0.28	0.11	-0.09	0.08	-0.37	0.12	-0.07	0.10	0.04	0.05	0.08	0.14	0.05	0.14	1.00		
Ds-opbrengst	0.50	0.28	0.51	0.44	0.34	0.51	-0.17	0.14	-0.12	0.04	-0.25	-0.16	-0.05	0.13	0.63	0.33	0.09	1.00	
Re-gehalteR	0.49	0.16	0.50	0.48	0.33	0.62	-0.17	0.14	-0.02	0.03	-0.22	0.11	-0.08	0.25	0.53	0.15	0.16	0.64	1.00

Bijlage 6 Samenvatting resultaten modelberekeningen NDICEA

Behandeling	Bodem organische stof (kg/ha)			Organische stofgehalte (%) eind 2002		
	Begin 1988	Eind eerste periode 1995	Eind tweede periode 2002	Berekend	Meting september	Meting oktober
BN1	108.000	96.500	89.000	2,54	*2,3	2,6
BN4	108.000	102.500	98.000	2,80	2,4	2,8
RN1	108.000	98.500	92.000	2,63	2,3	2,6
RN4	108.000	104.000	101.000	2,89	2,5	3,0
SN2	108.000	104.000	98.500	2,81	2,6	
SN5	108.000	104.000	104.000	2,95	2,6	

Bijlage 7 Samenvatting resultaten modelberekeningen Minos

Verloop van de hoeveelheid koolstof per ha in scenario BN1



Koolstofgewicht in de bouwvoor bij verschillende scenario's, na zestien jaar, uitgaande van een startgewicht van 47407 kg/ha, ofwel 3,1%, in laag 0-20 cm

Behandeling	Koolstofgewicht (C kg/ha)	Organische stof (%)
BN1	33086	2,2
BN2	38385	2,5
BN3	41300	2,7
BN4	45186	3,0
RN1	37270	2,4
RN2	42568	2,8
RN3	45483	3,0
RN4	49369	3,2
SN1	37963	2,5
SN2	43261	2,8
SN3	46176	3,0