

# Animal Sciences Group

Divisie Veehouderij, kennispartner voor de toekomst



process for progress

Rapport 69

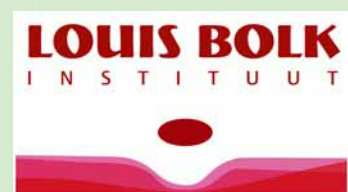
Ontwikkeling van opbrengst en bodemkwaliteit  
van grasland op een zandgrond bij bemesting  
met organische mest of kunstmest

4<sup>e</sup> rapport project Zorg voor Zand

September 2007



nutriënten management instituut nmi bv



ANIMAL SCIENCES GROUP

WAGENINGEN UR

## Colofon

### Uitgever

Animal Sciences Group van Wageningen UR  
Postbus 65, 8200 AB Lelystad  
Telefoon 0320 - 238238  
Fax 0320 - 238050  
E-mail [Info.veehouderij.ASG@wur.nl](mailto:Info.veehouderij.ASG@wur.nl)  
Internet <http://www.asg.wur.nl>

### Redactie

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.

### Liability

Animal Sciences Group does not accept any liability for damages, if any, arising from the use of the results of this study or the application of the recommendations.

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

## Referaat

ISSN 1570-8616

De Boer, H.C., Van Eekeren, N., Hanegraaf M.H.  
Ontwikkeling van opbrengst en bodemkwaliteit van grasland op een zandgrond bij bemesting met organische mest of kunstmest (2007)

Bemesten met vijf verschillende organische mestsoorten of kunstmest gedurende zes jaar had alleen bij bemesting met gewone drijfmest een stijgende trend in opbrengst tot gevolg. Tussen de behandelingen waren verschillen in chemische, fysische en biologische bodemkwaliteit.

**Trefwoorden:** stalmest, drijfmest, kunstmest, compost, bodemkwaliteit, opbrengst



Rapport 69

# Ontwikkeling van opbrengst en bodemkwaliteit van grasland op een zandgrond bij bemesting met organische mest of kunstmest

H.C. de Boer  
N. van Eekeren  
M.C. Hanegraaf

September 2007

## Voorwoord en dankwoord

Deze publicatie is tot stand gekomen in het kader van het project 'Zorg voor Zand'. In dit project werken de Animal Sciences Group (ASG, WUR), het Louis Bolk Instituut (LBI) en het Nutriënten Management Instituut (NMI) samen aan onderzoek gericht op het behoud van bodemkwaliteit op zandgronden. Het project loopt van 2004-2008 en is gefinancierd door het Productschap voor Zuivel (PZ).

In het onderzoek is samengewerkt met de projecten 'Bodem, Bedrijf en Biodiversiteit' en het BoBi-project. Aan de bodembemonstering is meegewerkt door Arthur de Groot, Bert van Dijk en Ton Schouten van het RIVM en Jan Bokhorst, Riekje Bruinenberg en Marleen Zanen van het LBI. De bepalingen aan potwormen zijn uitgevoerd door Tamas Salanki en Ron de Goede (vakgroep Bodemkwaliteit WUR). Springstaarten en mijten zijn geanalyseerd door Wim Dimmers en Gerard Jagers op Akkerhuis (Alterra, WUR). De bepalingen aan nematoden zijn uitgevoerd door Harm Keidel (BLGG). De microbiologische bepalingen zijn uitgevoerd door Jaap Bloem (Alterra, WUR).

Het proefveld heeft gedurende zes jaar gelegen bij Mts. Bouwmans te Bakel. Gedurende deze zes jaar is ook de humest van Mts. Bouwmans gebruikt in het onderzoek. De proefuitvoer is verzorgd door voormalig praktijkcentrum Cranendonck (Noord-Brabant), en de verzamelde gegevens zijn statistisch geanalyseerd door Geert André en Johan van Riel (ASG).

## Samenvatting

Tussen 2000 en 2003 is op twee proefvelden in Noord-Brabant (Bakel en Budel) de waarde van verschillende organische meststoffen als stikstof(N)meststof onderzocht. Daarnaast is ook het effect van meerjarige bemesting op bodemkwaliteit bestudeerd. In 2004 en 2005 is het onderzoek te Bakel voortgezet als onderdeel van het project 'Zorg voor Zand'. Dit project heeft als doel de bodemkwaliteit en het opbrengstniveau van zandgronden op peil te houden. De onderzoeksvragen waren: (1) in hoeverre zijn verschillende mestsoorten in staat het opbrengstniveau van grasland op peil te houden en (2) welk effect heeft verschil in mestsoort op de bodemkwaliteit? Gedurende zes jaar werden vijf meststoffen toegediend op vier N-niveaus. De meststoffen waren twee verschillende soorten runderdrijfmest (DRM1 en DRM2), stalmest (STAL), humest (HUM, bermmaaisel gecomposteerd met drijfmest) en kunstmest kalkammonsalpeter (KAS). De N-niveaus waren 50 (N1), 100 (N2), 150 (N3) en 200 (N4) kg N-totaal ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> met KAS en 75 (N1), 150 (N2), 225 (N3) en 300 (N4) kg N-totaal ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> met organische mest. Bij N1 en N2 werd de jaargift voor de eerste snede toegediend; bij N3 werd tweederde van de jaargift toegediend voor de eerste snede en eenderde voor de tweede snede; bij N4 werd de helft van de jaargift toegediend voor de eerste snede en de andere helft voor de tweede snede. Op de onbemeste controle (NUL) werd geen N bemest. De proefvelden werden per jaar vier tot vijf keer gemaaid. Eind 2004 en 2005 werd op een selectie van veldjes een aantal fysische, chemische en biologische bodemparameters bepaald, en eind 2005 werd op alle veldjes de chemische bodemkwaliteit bepaald. Uit de resultaten blijkt dat bij een N-niveau van 260 kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> (gemiddelde gerealiseerde jaarlijkse gift met organische meststof bij N4) er sprake was van een dalende trend in opbrengst bij alle mestsoorten, behalve bij DRM1. De totale daling over de proefperiode was het grootst bij NUL (-45%), gevolgd door HUM (-31%), STAL (-27%), KAS (-12%) en DRM2 (-10%). Bij DRM1 steeg de opbrengst over de proefperiode met 5%. De daling werd veroorzaakt door een afname van N-levering uit de oorspronkelijke bodemvoorraad die niet voldoende werd gecompenseerd door N-levering uit de meststof (directe levering en nawerking). De opbrengststijging bij DRM1 werd mogelijk veroorzaakt door een positief effect van bodemkwaliteit dat los stond van N-levering. Bij alle behandelingen, behalve NUL, nam het gehalte organische stof en C-totaal in de bodem toe vergeleken met het begingehalte in 2000; bij NUL bleef het gehalte gelijk. De bodemvoorraad N nam bij alle mestsoorten, behalve humest, af ten opzichte van de beginvoorraad. De daling nam af in de volgorde KAS, NUL, DRM1, DRM2, STAL, HUM. Omdat de (relatieve) toename in het gehalte organische stof, C-totaal of N-totaal samenging met een dalende opbrengsttrend, kon geconcludeerd worden dat verhoging van het gehalte organische stof, C-totaal of N-totaal in de bodem op korte termijn niet tot een hogere opbrengst hoeft te leiden. De N uit HUM en STAL gaf nauwelijks nalevering in volgende jaren. Blijkbaar was deze N moeilijk afbreekbaar of was het bodemleven onvoldoende actief. Bij bemesting met organische meststoffen kon de pH van de bodem goed op peil worden gehouden. Bij bemesting met alleen KAS daalde de pH sterk. Bij vergelijking van DRM1 en DRM2 blijkt dat drijfmesten van verschillende herkomst (maar gelijke gehalten organische stof, N-totaal en N-NH<sub>4</sub>) sterk kunnen verschillen wat betreft hun effect op ontwikkeling van bodemkwaliteit en opbrengst. Bij bemesting met alleen DRM1 bleef de opbrengst op peil bij een jaarlijkse N-totaalgift van 225 kg ha<sup>-1</sup>, 10% lager dan de N-gebruiksnorm voor dierlijke mest (250 kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>). Bij bemesting op de gebruiksnorm nam de opbrengst licht toe, van 10,2 tot 10,5 ton ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>. Bij bemesting met alleen DRM2 was een jaarlijkse gift van 380 kg N ha<sup>-1</sup> nodig om de opbrengst op peil te houden. Dit ondanks een sterkere toename van de chemische bodemkwaliteit vergeleken met DRM1. Bij bemesting op de gebruiksnorm dierlijke mest daalde de opbrengst van 10,8 tot 9,8 ton ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>. Bij bemesting met KAS had de opbrengst op peil kunnen blijven bij een jaarlijkse gift van 430 kg N ha<sup>-1</sup>. Gezien de daarmee gepaard gaande afname van de bodemvoorraad N, zou het op de langere termijn onmogelijk zijn geweest om de opbrengst op dit niveau te houden. Gedurende zes jaar bemesting op een suboptimaal N-niveau gingen grote hoeveelheden N verloren naar het milieu. Uit de opgestelde balansen blijkt dat bij bemesting met KAS, DRM1, DRM2, HUM en STAL achtereenvolgens 69, 52, 46, 34 en 55% van de aan de meststof toegerekende N verloren ging. De bodembioologische activiteit van het proefveld was laag. De microbiologische biomassa was laag, de aantallen nematoden waren wisselend, de hoeveelheid wormen en potwormen was laag maar het aantal springstaarten en mijten was extreem hoog. Dit zou kunnen wijzen op een voedselwebstructuur met weinig metabolisme, waarin de opengevallen ruimte wordt ingenomen door springstaarten en mijten. De bemesting met verschillende mestsoorten op verschillende niveaus liet geen grote verschuivingen zien in de bodembioologische parameters. De hogere aantallen plantetende nematoden bij bemesting met kunstmest worden mogelijk verklaard doordat kunstmest een meer direct effect op de gewasgroei, en daarmee op de wortelgroei en het aantal plantetende nematoden heeft. Bemesting met organische mestsoorten stimuleerde het verloop van afbraakprocessen via het bodemvoedselweb iets meer dan geen bemesting of bemesting met kunstmest. Dit uitte zich in een toename van het aantal potwormen, meer bacterie-etende nematoden en een hogere bacteriële activiteit. De behandeling DRM1 liet een extreem hoge bacteriële activiteit zien. Daarnaast gaf de hoge anaerobe N-mineralisatie bij deze behandeling aan dat de organische stof van goede kwaliteit was. Deze twee observaties bieden mogelijk een verklaring voor de waargenomen stijgende trend in drogestofopbrengst.

# Inhoudsopgave

Voorwoord en dankwoord

Samenvatting

<b>Inhoudsopgave</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Materiaal en methoden</b> .....	<b>2</b>
2.1 Proefopzet en uitvoering.....	2
2.2 Bemesting.....	2
2.3 Botanische samenstelling .....	2
2.4 Oogst .....	2
2.5 Bodembemonstering en -analyse .....	3
2.6 Neerslag en verdamping.....	5
2.7 Statistische analyse .....	5
<b>3 Resultaten</b> .....	<b>7</b>
3.1 Ontwikkeling drogestofopbrengst in de tijd .....	7
3.2 Bodemanalyse .....	8
3.2.1 Chemisch en fysisch (2004 en 2005) .....	8
3.2.2 Biologisch (2004 en 2005) .....	9
3.2.3 Chemisch 0-20 cm (2005) .....	14
<b>4 Discussie</b> .....	<b>17</b>
4.1 Statistische analyse drogestofopbrengst.....	17
4.2 Ontwikkeling drogestofopbrengst in relatie tot bodemkwaliteit .....	17
4.3 Fysische en biologische bodemkwaliteit in 2004 en 2005.....	19
4.4 N-balans en -verliezen .....	20
<b>5 Conclusies</b> .....	<b>21</b>
<b>6 Aanbevelingen</b> .....	<b>23</b>
<b>Bijlagen</b> .....	<b>24</b>
Bijlage 1 Giften organische mest, bemestingsdatums .....	24
Bijlage 2 Botanische samenstelling .....	25
Bijlage 3 Oogstdatums.....	25
Bijlage 4 Neerslaggegevens .....	26
<b>Literatuur</b> .....	<b>28</b>

## 1 Inleiding

In de periode 2000-2003 is op twee proefvelden in Noord-Brabant (Bakel en Budel) onderzoek gedaan naar de waarde van verschillende organische meststoffen vergeleken met kunstmest. De onderzoeksvragen waren: (1) in hoeverre zijn verschillende mestsoorten in staat het opbrengstniveau van grasland op peil te houden en (2) welk effect heeft verschil in mestsoort op de bodemkwaliteit? De resultaten van dit onderzoek zijn gerapporteerd in de Boer et al. (2004). Uit het onderzoek bleek dat bemesten met alleen kunstmest in combinatie met alleen maaien van het gras de chemische bodemkwaliteit (pH, organische stof, C-totaal en N-totaal) op het proefveld te Bakel sterk liet dalen. Door aanvoer van organische stof met mest kon deze daling voorkomen worden. Vanaf 2004 is het onderzoek op het proefveld te Bakel voortgezet in het kader van het project 'Zorg voor Zand'. Het doel van dit project is de ontwikkeling van praktische kennis om de daling van organische stofgehalten op zandgronden, en de gevolgen daarvan voor de bedrijfsvoering, te voorkomen. Door de bemestingsbehandelingen nog twee jaar te handhaven, kon het effect van mestsoorten en bemestingsniveaus op organische stof en bodemkwaliteit verder onderzocht worden. Daarnaast konden al gecreëerde verschillen in bodemkwaliteit tussen de veldjes gebruikt worden om potentiële indicatoren voor bodemkwaliteit te testen. In de jaren 2004 en 2005 zijn daarom de behandelingen gehandhaafd, en is de opbrengst van vier sneden per jaar bepaald. Eind 2004 en 2005 is op een selectie van veldjes een aantal fysische, chemische en biologische parameters bepaald, en eind 2005 is op alle veldjes de chemische bodemkwaliteit bepaald.

## 2 Materiaal en methoden

### 2.1 Proefopzet en uitvoering

Informatie over de proefopzet en -uitvoer (locatie, behandelingen, gebruikte mestsoorten, giften) in de periode 2000 tot en met 2003 is gegeven in de Boer et al. (2004). De uitvoering in 2004 en 2005 wordt hieronder beschreven. Gewone drijfmest en FIR-drijfmest zijn hernoemt tot drijfmest1 (DRM1) en drijfmest2 (DRM2). Dit omdat de benaming FIR-drijfmest de indruk zou kunnen wekken dat het enige verschil tussen de twee drijfmesten het al dan niet toevoegen van FIR-MMC® aan het melkveerantsoen zou zijn geweest. Drijfmest2 was echter afkomstig van een ander bedrijf, met een ander melkveerantsoen en een ander management.

### 2.2 Bemesting

In 2004 en 2005 werden de niveaus van bemesting en de toegediende mestsoorten gehandhaafd. Drijfmest1 was in deze twee jaren eveneens afkomstig van praktijkcentrum 'Cranendonk'; drijfmest2 eveneens van het bedrijf Van den Broek uit Wanroy, de humest eveneens van het bedrijf van maatschap Bouwmans uit Bakel en de stalmest eveneens van het bedrijf van de familie Slenders te Budel. In 2004 werden bij de bemesting met humest en stalmest voor de eerste snede (25 februari) de behandelingen met N1 overgeslagen. Deze behandelingen zijn alsnog bemest op 22 maart. De bemestingsdatums en mestgiften per jaar en per snede zijn gegeven in bijlage 1. KAS werd op dezelfde wijze bemest als in de periode 2000 tot en met 2003. De gebruikte mesten werden bemonsterd op dezelfde parameters als in de periode 2000-2003. De gemiddelde mestsamenstelling in deze periode is bijgewerkt en gegeven in tabel 1. Fosfaat en kali werden evenals in de periode 2000-2003 in ruime mate toegediend. Fosfaat werd toegediend als tripelsuperfosfaat en kali als K-60.

**Tabel 1** Samenstelling van de organische mestsoorten (g kg<sup>-1</sup> vers product) per bemeste snede, het gemiddelde en de variatie in zes proefjaren (2000-2005)

Mest	Snede	Drogestof	Organische stof	N-totaal	N-NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
DRM1	1	86 (54-101)	65 (39-79)	3,8 (3,2-4,4)	1,9 (1,5-2,3)	1,5 (1,0-1,9)	5,1 (4,0-6,3)
DRM2	1	79 (42-112)	63 (32-91)	3,8 (3,0-5,0)	1,9 (1,6-2,4)	1,2 (0,5-1,8)	3,5 (3,0-4,1)
HUM	1	292 (186-393)	127 (77-155)	5,4 (4,0-7,5)	0,3 (0,1-0,5)	3,7 (2,7-4,9)	5,3 (3,0-8,5)
STAL	1	152 (136-166)	125 (98-140)	3,9 (2,9-5,4)	0,8 (0,4-1,1)	2,2 (1,5-3,6)	4,0 (3,0-6,8)
DRM1	2	74 (44-110)	57 (32-83)	3,6 (3,2-4,0)	1,8 (1,5-2,4)	1,3 (0,9-1,8)	4,9 (4,0-5,9)
DRM2	2	91 (71-101)	71 (58-80)	3,9 (3,5-4,2)	2,0 (1,7-2,3)	1,7 (1,2-2,7)	3,6 (3,2-4,4)
HUM	2	351 (243-462)	154 (80-201)	7,4 (4,0-10,3)	0,8 (0,4-1,2)	5,3 (2,9-8,4)	9,6 (3,5-18,5)
STAL	2	136 (114-185)	112 (99-141)	3,8 (2,5-5,2)	1,0 (0,6-1,5)	2,0 (1,1-3,5)	3,8 (2,8-6,2)

### 2.3 Botanische samenstelling

Op 4 oktober 2005, twee dagen voor het maaien van de laatste snede en zes dagen voor de eindbemonstering van de bodem, werd de botanische samenstelling per veldje visueel geschat door een ervaren schatter (Henk Schilder, ASG). Een samenvatting van de resultaten is gegeven in Bijlage 2.

### 2.4 Oogst

De veldjes werden op dezelfde wijze geoogst als in de periode 2000-2003. De oogstdatums zijn gegeven in Bijlage 3. De opbrengsten werden ook op dezelfde manier verwerkt, behalve dat in 2004 en 2005 de gedroogde monsters niet werden geanalyseerd op gehalte N.



## 2.5 Bodembemonstering en -analyse

Op 4 oktober 2004 en 10 oktober 2005 zijn door het LBI en RIVM monsters genomen voor analyse van fysische en biologische bodemparameters. De bemonstering in 2004 werd uitgevoerd op de onbemeste proefveldjes en de proefveldjes met de verschillende mestsoorten toegediend op niveau N3. De bemonstering in 2005 werd uitgevoerd op de onbemeste proefveldjes en op de proefveldjes met N2 en N4 van enkel de mestsoorten KAS en STAL. De uitgevoerde bepalingen zijn weergegeven in Tabel 2.

**Tabel 2** Onderzochte chemische, fysische en biologische bodemparameters in 2004 en 2005, bodemlaag waarin de parameter bepaald werd en eenheid van weergave

Parameter	Lagen (cm)	Eenheid	2004	2005
Dichtheid	2,5-7,5	g cm <sup>3</sup> droge grond	Ja	Ja
C-totaal	0-10	g kg <sup>-1</sup> droge grond	Ja	Ja
N-totaal	0-10	g kg <sup>-1</sup> droge grond	Ja	Ja
Organische stof	0-10	% van droge grond	Ja	Ja
pH-KCl	0-10	-log[H <sup>+</sup> ]	Ja	Ja
Vochtgehalte	2,5-7,5	% van veldvochtige grond	Ja	Ja
Indringingsweerstand	0-10	mPa	Ja	Ja
	10-20	mPa	Ja	Ja
	20-30	mPa	Ja	Ja
	30-40	mPa	Ja	Ja
	40-50	mPa	Ja	Ja
Bodemstructuur	0-10	%	Ja	Ja
Aantal wortels	0-10	# m <sup>2</sup>	Ja	Ja
	0-20	# m <sup>2</sup>	Ja	Ja
Wortelmasse	0-10	g droge biomassa m <sup>2</sup>	Ja	Nee
Aantal regenwormen	0-20	# m <sup>2</sup>	Ja	Ja
Biomassa regenwormen	0-20	g m <sup>2</sup> veldvochtige grond	Ja	Ja
Soorten regenwormen	0-20	#	Ja	Ja
Macroporiën	0-10	# m <sup>2</sup>	Ja	Ja
	0-20	# m <sup>2</sup>	Nee	Ja
Aantal potwormen	0-15	# m <sup>2</sup>	Nee	Ja
Biomassa potwormen	0-15	g m <sup>2</sup> veldvochtige grond	Nee	Ja
Soorten potwormen	0-15	#	Nee	Ja
Aantal springstaarten en mijten	0-5	# m <sup>2</sup>	Nee	Ja
Soorten springstaarten en mijten	0-5	# m <sup>2</sup>	Nee	Ja
Aantal nematoden	0-10	100 <sup>1</sup> g veldvochtige grond	Ja	Ja
Soorten nematoden	0-10	100 <sup>1</sup> g veldvochtige grond	Ja	Ja
Thymidine-inbouw	0-10	Pmol g <sup>-1</sup> droge grond uur <sup>-1</sup>	Ja	Ja
Leucine-inbouw	0-10	Pmol g <sup>-1</sup> droge grond uur <sup>-1</sup>	Ja	Ja
Schimmel activiteit	0-10	% of hyphe lengte	Ja	Ja
Biomassa bacteriën	0-10	µg C g <sup>-1</sup> droge grond	Ja	Ja
Biomassa schimmels	0-10	µg C g <sup>-1</sup> droge grond	Ja	Ja
Anaërobe potentiële N-mineralisatie	0-10	mg N kg <sup>-1</sup> grond	Ja	Ja
Aërobe potentiële N-mineralisatie	0-10	mg N kg <sup>-1</sup> grond week <sup>-1</sup>	Ja	Ja
Aërobe potentiële C-mineralisatie	0-10	mg C kg <sup>-1</sup> grond week <sup>-1</sup>	Nee	Ja
Respiratie	0-10	mg CO <sub>2</sub> 100 g <sup>-1</sup> droge grond week <sup>-1</sup>	Ja	Ja

De dichtheid is bepaald in RVS ringen van 100 cc met een hoogte van 5 cm. Per veldje en per laag zijn regelmatig verdeeld over de te bemonsteren oppervlakte 3 dichtheidsmonsters verzameld. Vóór het drogen zijn de ringen ingewogen en na het drogen in een droogstoof (70 °C) en terugwegen zijn vochtgehalte en dichtheid berekend. Per veldje werd op 10 plaatsen (zigzagpatroon) de indringingsweerstand gemeten met een penetrologger van Eijkelkamp Agrisearch Equipment (type niet bekend). De conus had een oppervlak van 1 cm<sup>2</sup>. De bodemstructuur werd per veldje beoordeeld door middel van een visuele score van één graszode van 20x20x20 cm in drie klassen: % kruimels, % afgeronde elementen en % scherpblokkige elementen. Vervolgens werd het aantal wortels en macroporiën aan de onderzijde van de graszode geteld. Daarna werd de zode op 10 cm afgestoken, en werd de telling herhaald.

De totale hoeveelheid grond van de zode werd verzameld en in het laboratorium werd het aantal wormen en de leeftijd van de wormen bepaald. In 2005 werden dezelfde analyses (aantal en leeftijd wormen) ook gedaan aan een extra uitgestoken graszode van 20 x 20 x 20 cm.

In 2004 zijn per proefveldje drie monsters gestoken voor de bepaling van de wortelbiomassa. De monsters zijn gestoken met een wortelboor met een diameter van 8 cm en een lengte van 10 cm. Na het uitspoelen werd de wortelmassa gedroogd bij 70 °C en daarna gewogen.

Ter bepaling van het aantal potwormen werden in 2005 van bodemlaag 0-15 cm 2 monsters per proefveldje gestoken met behulp van ringen (diameter 5,8 cm). De monsters werden samengevoegd en het mengmonster werd geëxtraheerd volgens de gemodificeerde natte extractiemethode (Didden, 1991). Daarna werden de potwormen geteld en gedetermineerd tot op soortenniveau.

Ter bepaling van het aantal springstaarten en mijten werden in 2005 van bodemlaag 0-5 cm twee monsters per veldje genomen met behulp van ringen (diameter 5,8 cm). Mijten en springstaarten in het mengmonster werden in een Tullgrenapparaat uit de monsters geëxtraheerd door geleidelijke uitdroging gedurende een week. De in alcohol (70%) opgevangen mijten en springstaarten werden vervolgens overgebracht op objectglazen met 10% melkzuur en na opheldering tot op soortenniveau gedetermineerd (Schouten et al., 2000). Met behulp van de database van Alterra zijn de aantallen per soort gegroepeerd in voedselgroepen en overlevingsstrategieën.

Per veldje werd in 2004 en 2005 een mengmonster van laag 0-10 cm gestoken. In een zigzagpatroon over het veldje werden 50-70 steken genomen met een monsterboor (diameter 2,3 cm) met verzamelbak. De steken werden samengevoegd, gemengd en gezeefd (<1 cm). Daarna werd het monster opgedeeld in een aantal submonsters voor de chemische analyses (Blgg), bepalingen aan nematoden en microbiologische analyses.

Ter bepaling van het aantal nematoden werd uit het mengmonster een submonster van 700-800 g genomen. Hiervan werd 100 gram in suspensie gebracht en vervolgens gezeefd en gefilterd. Het aantal nematoden werd geschat door twee keer het aantal in 10% van het monster te tellen. Er werden ongeveer 150 exemplaren gedetermineerd. Op basis van een database (Blgg, Oosterbeek) is het aantal per voedselgroep en overlevingsstrategie per 100 g veldvochtige grond vastgesteld.

Voorafgaand aan de microbiële analyses werd 20 gram van het mengmonster 4 weken bij 12 °C (gemiddelde bodemtemperatuur) en 50% WHC (vochtgehalte van 50% van de waterhoudende capaciteit) bewaard (Bloem et al., 2006). Bij monsters met een WHC lager dan 50% werd water toegevoegd. Het totale aantal bacteriën en de afmetingen van de cellen werden bepaald door middel van directe microscopische tellingen, na kleuring met fluorescerende verbindingen (Bloem en Vos, 2004). De microscopische tellingen werden uitgevoerd met een confocale laserscanmicroscop en automatische beeldverwerking (Bloem et al., 1995). Uit het aantal en het volume van de cellen werd de bacteriële biomassa berekend en uitgedrukt in  $\mu\text{g C g}^{-1}$  droge grond. De totale hoeveelheid schimmeldraden (hyphen) in de grond werd bepaald door de lengte te meten onder de microscoop. De lengte werd vervolgens omgerekend naar een hoeveelheid koolstof en de schimmelbiomassa werd uitgedrukt in  $\mu\text{g C g}^{-1}$  droge grond. Actieve schimmels werden onderscheiden van inactieve schimmels door een specifieke kleuring van DNA en RNA met een rode fluorescerende kleurstof (Actief groeiende hyphen bevatten veel RNA; bij inactieve schimmels zijn alleen de blauw gekleurde celwanden te zien).

De 'potentiële N mineralisatie' werd bepaald door 50 gram gehomogeniseerde en gezeefde (< 5mm) veldvochtige grond uit het mengmonster te incuberen in luchtdichte potten bij 20 °C (Bloem et al., 1994). De toename in minerale N tussen week 1 en week 6 werd gebruikt om N mineralisatiesnelheden te berekenen. Minerale N werd geëxtraheerd met 1 M KCl, en  $\text{NH}_4$  en  $\text{NO}_3$  werden via een kleurreactie gemeten met een autoanalyser. De 'potentiële N mineralisatie' werd gemeten onder gestandaardiseerde, maar min of meer natuurlijke omstandigheden, waarbij voornamelijk aerobe micro-organismen actief zijn.

Daarnaast werd ook de 'potentiële mineraliseerbare N' gemeten, door incubatie van 16 gram grond gedurende 1 week onder water bij 40 °C (Keeny en Nelson, 1982; Canali en Benedetti, 2006). Deze meer kunstmatige omstandigheden zijn optimaal voor een snelle mineralisatie van organische stof door anaerobe bacteriën. Bij gebrek aan zuurstof wordt de vrijkomende  $\text{NH}_4$  niet omgezet in  $\text{NO}_3$ , en kan er ook geen verlies door denitrificatie optreden. De hoeveelheid minerale N ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) die vrijkomt is een maat voor de kwaliteit van de organische stof (N-gehalte en afbreekbaarheid) en daarmee voor de biologische bodemvruchtbaarheid. Bij bepaling van de 'potentiële N mineralisatie' en de 'potentiële mineraliseerbare N' werd ook de mineralisatie van een blanco bepaald, aan respectievelijk 50 en 16 gram grond.

In 2005 werd na de oogst van de laatste snede van alle veldjes bodemlaag 0-20 cm bemonsterd (10 oktober 2005, 20 steken, diagonaal patroon). De monsters werden verstuurd naar het Blgg te Oosterbeek en met behulp van de standaardmethoden geanalyseerd op pH-KCl, organische stof (elementair), N-totaal, C-totaal, P-AI en K-HCl.

## 2.6 Neerslag en verdamping

De gebruikte neerslaggegevens zijn afkomstig van het KNMI weerstation 'Gemert' (KNMI, Bilthoven). De gegevens van de referentiegewasverdamping (volgens Makkink) waren eveneens afkomstig van het KNMI en zijn berekend op basis van de gegevens van het weerstation te Eindhoven. Het neerslagoverschot werd berekend door de referentiegewasverdamping op de neerslag in mindering te brengen. De gegevens zijn weergegeven in bijlage 4.

## 2.7 Statistische analyse

### *Ontwikkeling drogestofopbrengst*

De drogestofopbrengst als functie van de N-gift is per mestsoort als volgt gemodelleerd:  
Het model is een exponentiële curve:

$$\ln(Y) = \alpha_0 + \beta_0 * T + (\alpha_1 i + \beta_1 i * T) * (1 - e^{-\rho * Ngift}) + \varepsilon_j + \varepsilon_b + e_{bvj}$$

met:

- Ln Y    Opbrengstkenmerk op (natuurlijk) logaritmische schaal
- $\alpha_0$     Intercept, d.w.z. opbrengst bij N=0 in het startjaar
- $\beta_0$     Gemiddelde aanpassing van het intercept per volgjaar in de proef
- T        Volgjaar in de proef; kalenderjaar 2000 is volgjaar 0, 2001 is volgjaar 1, etc.
- $\alpha_1 i$     Maximale stijging in opbrengst in het startjaar, dus bij oneindig grote dosis is de maximale opbrengst  $\alpha_0 + \alpha_1 i$ ; dit is per mestsoort i
- $\beta_1 i$     Gemiddelde aanpassing van  $\alpha_1 i$  per volgjaar in de proef; dit is per mestsoort i
- $\rho$         Snelheidsparameter voor de stijging van de opbrengst
- $\varepsilon_j$     Random jaareffect,  $\varepsilon_j \sim N(0, \sigma_j^2)$
- $\varepsilon_b$     Random blokeffect,  $\varepsilon_b \sim N(0, \sigma_b^2)$
- $\varepsilon_{bvj}$     Random blok.veld.jaar effecten gecorreleerd binnen veld, grootte van de variantie verschillend per jaar en de correlatie tussen waarnemingen binnen een veld dempt uit naarmate er meer tijd tussen ligt. Daarnaast is er een (over jaren heen) correlatie tussen nabij gelegen veldjes en ook deze dempt uit naarmate de afstand tussen deze veldjes toeneemt:

$$\varepsilon_{b.v.j} \sim N(0; \sigma_{\varepsilon.j}^2, \phi_{\varepsilon.j}, \phi_{\varepsilon.v})$$

Bovenstaand model is gebruikt voor analyse van drogestofopbrengst (ton ha<sup>-1</sup>jaar<sup>-1</sup>). Het model is in Genstat aangepast met REML. De niet-lineaire parameters zijn geschat volgens een iteratieve procedure uitgaande van een 1<sup>e</sup>-orde Taylor-benadering (Lindstrom en Bates, 1990; Engel et al., 2003). De juiste structuur van het random model is bepaald op basis van de deviance, uitgaande van een maximaal model. Ten behoeve van controle op normaliteit en lack-of-fit zijn residuenplots gemaakt.

*Ontwikkeling basisbodempkwaliteit*

De invloed van N-niveau (gedurende zes jaar) op een bodemparameter (gemeten na deze zes jaar) is per mestsoort gemodelleerd met een eenvoudige kwadratische trend :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 i * Ngift + \beta_2 * Ngift^2 + \varepsilon_b + e_{bv}$$

met:

$Y$	bodemparemeter
$\beta_0$	intercept, d.w.z. opbrengst bij N-niveau van 0 (gelijk voor alle mestsoorten)
$\beta_1 i$	lineair effect per mestsoort $i$ ; d.w.z. de richtingscoëfficiënt van de curve bij N-niveau 0
$\beta_2$	kwadratische effect (over mestsoorten heen); d.w.z. de globale verandering in richtingscoëfficiënt (van alle mestsoorten) per eenheid extra Ngift
$\varepsilon_b$	random blokeffect, $\varepsilon_b \sim N(0, \sigma_b^2)$
$\varepsilon_{bv}$	random blok.veld effecten gecorreleerd binnen blok; dit is correlatie tussen nabij gelegen veldjes en deze dempt uit naarmate de afstand tussen de veldjes toeneemt, $\varepsilon_{bv} \sim N(0; \sigma_v^2, \phi_v)$

Er is gekozen voor een eenvoudige kwadratische trend omdat er nog weinig sprake van afvlakking (asymptoot) was, waardoor deze eenvoudige aanpak volstond. De correlatie tussen nabijgelegen veldjes binnen een blok duidt mogelijk op enige heterogeniteit in het blok bij aanvang van de proef.

*Subsets chemische, fysische en biologische bodemparematers (2004 en 2005)*

De fysische en biologische bodemparematers werden per jaar statistisch geanalyseerd met behulp van de ANOVA procedure in Genstat 8 (Payne et al., 2005). De analysestructuur was:

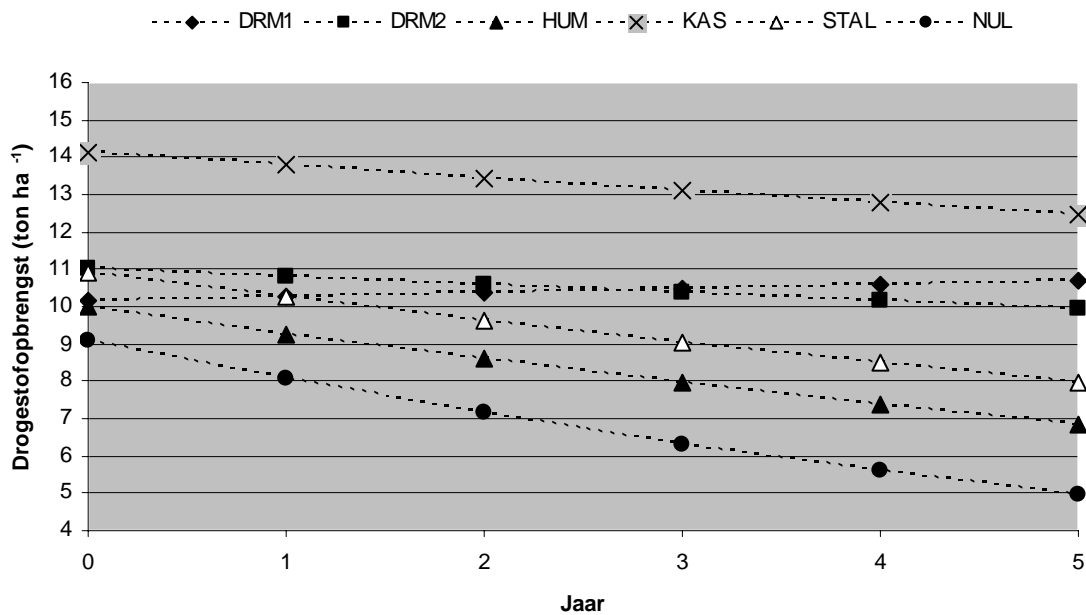
- Blockstructure = blok
- Treatmentstructure = behandeling

### 3 Resultaten

#### 3.1 Ontwikkeling drogestofopbrengst in de tijd

Bij een gemiddelde N-totaalgift gedurende de proefperiode van 260 kg ha<sup>-1</sup> (maximale gemiddelde N-gift bij KAS was 200 kg, bij organische mestsoorten circa 260 kg) was er sprake van een dalende trend in opbrengst bij alle mestsoorten, behalve bij drijfmest1 (Figuur 1). De totale daling over de proefperiode was het grootst op de onbemeste veldjes (-45%), gevolgd door humest (-31%), stalmest (-27%), KAS (-12%) en drijfmest2 (-10%). Bij drijfmest1 steeg de opbrengst over de proefperiode met 5%.

**Figuur 1** Ontwikkeling van de drogestofopbrengst (ton ha<sup>-1</sup>) gedurende zes jaar identieke bemesting, per mestsoort, bij een N-totaalgift van 260 kg ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>



De opbrengst bij drijfmest2 daalde minder snel dan de opbrengst bij KAS, zodat in het zesde jaar het verschil met KAS kleiner was geworden. Een verhoging van de jaarlijkse N-gift leidde tot een afname van de dalende trend bij KAS, drijfmest1 en drijfmest2. Bij een in het model ingevoerde jaarlijkse gift van 430 kg N ha<sup>-1</sup> bleef de opbrengst bij bemesting met KAS gedurende de proefperiode op hetzelfde niveau als in het beginjaar. De jaaropbrengst bedroeg in dat geval 15,9 ton ha<sup>-1</sup>. Bij een hogere bemesting was er sprake van een verdere toename in opbrengst; bij een lagere bemesting van een daling. Bij drijfmest1 bleef de opbrengst gedurende de proefperiode op niveau bij een jaarlijkse bemesting van ongeveer 225 kg N ha<sup>-1</sup>. De jaaropbrengst was dan 10,1 ton ha<sup>-1</sup>. Was er bemest op de gebruiksnorm voor N met dierlijke mest (250 kg ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>), dan was de opbrengst toegenomen van 10,2 ton in het beginjaar tot 10,5 ton in het eindjaar. Bij drijfmest2 bleef de opbrengst op niveau bij een jaarlijkse bemesting met 380 kg N ha<sup>-1</sup>. Was er bemest op de gebruiksnorm, dan was de opbrengst gedaald van 10,8 tot 9,8 ton ha<sup>-1</sup>. Bij humest en stalmest kon, ook bij sterke verhoging van de N-gift, de opbrengst niet op het niveau van het beginjaar gehouden worden.

### 3.2 Bodemanalyse

#### 3.2.1 Chemisch en fysisch (2004 en 2005)

Het gemiddelde vochtgehalte van de grond was bij bemonstering in 2004 duidelijk hoger dan in 2005 (20,8 % versus 10,4%). De behandelingen hadden in geen van beide jaren een significant effect op het vochtgehalte. De pH-KCl en het gehalte C-totaal, N-totaal en organische stof in de laag 0-10 cm waren in het algemeen hoger bij de behandelingen met organische mest vergeleken met KAS of niet bemesten. Dit effect was duidelijk zichtbaar in 2004 en in mindere mate in 2005. De verschillen waren echter vaak niet significant. In 2005 nam de behandeling KASN2 met betrekking tot C-totaal en pH-KCl een intermediaire plaats in tussen STALN2 en KASN4. In 2004 was de dichtheid in laag 2,5-7,5 cm het laagst bij de behandeling bemest met humest, vergeleken met de andere behandelingen. De dichtheid bij de veldjes bemest met humest was significant lager wanneer vergeleken met de onbemeste veldjes of de veldjes bemest met KAS. In 2005 was er geen sprake van significante verschillen in dichtheid tussen de behandelingen.

**Tabel 3** Analyseresultaten van bodemchemische en -fysische parameters in 2004

Parameter	Eenheid	Behandelingen						P-waarde
		NUL	KASN3	STALN3	HUMN3	DRM1N3	DRM2N3	
Vochtgehalte	%	19.5	18.0	20.0	22.1	25.10	20.1	NS
C-totaal	% in droge grond	2.02b	1.95b	2.74a	2.54ab	2.79a	2.53ab	0.094
Org. stof	% in droge grond	3.83bc	3.80c	4.90a	4.98ab	5.00a	4.95abc	0.090
N-totaal	% in droge grond	0.14b	0.14b	0.21a	0.21a	0.20a	0.20ab	0.068
pH-KCl	-log[H <sup>+</sup> ]	5.30b	5.10b	5.88a	5.80a	5.90a	5.90a	<0.001
Dichtheid	g cm <sup>3</sup>	1.28a	1.29a	1.22ab	1.17b	1.24ab	1.27ab	0.081
<b>Indringingsweerstand</b>								
0-10 cm	mPa	1.22ab	1.29a	1.13b	1.05c	1.18ab	1.23ab	0.019
10-20 cm	mPa	2.11	2.21	2.00	1.79	2.05	2.03	NS
20-30 cm	mPa	2.62	2.54	2.56	2.36	2.96	2.66	NS
30-40 cm	mPa	2.75	2.60	2.77	2.85	3.36	2.82	NS
40-50 cm	mPa	2.39	2.18	2.24	2.63	3.18	2.14	NS
<b>Bodemstructuur 0-10 cm</b>								
Kruimel	%	46.2	40.8	52.3	48.8	42.2	48.6	NS
Afgerond	%	49.1	46.7	44.7	42.5	48.0	44.8	NS
Scherp	%	4.7	12.5	2.9	8.7	9.8	6.6	NS
<b>Wortels</b>								
10 cm diepte	# m <sup>2</sup>	5669	5156	6338	4675	4950	5800	NS
20 cm diepte	# m <sup>2</sup>	1088	1463	1994	1800	1163	1088	NS
Droge massa	g m <sup>2</sup>	1187a	1278a	913b	903b	794b	781b	<0.001

De indringingsweerstand was in 2004 enkel significant verschillend voor de laag 0-10 cm, waarbij de laagste waarde werd gemeten bij bemesting met humest, gevolgd door stalmest, de twee drijfmestsoorten en de onbemeste controle. Bij bemesting met kunstmest was de indringingsweerstand significant hoger dan bij bemesting met de vaste mesten humest en stalmest. Er waren geen significante verschillen tussen de behandelingen in de visuele beoordeling van de bodemstructuur in 2004 en 2005. Het aantal wortels per m<sup>2</sup> op 10 en 20 cm diepte werd in beide jaren niet significant beïnvloedt door type mest of niveau van bemesting. Wel was de wortelbiomassa in de laag 0-10 cm in 2004 significant hoger voor de NUL en KASN3 ten opzichte van de behandelingen met organische mest.

**Tabel 4** Analyseresultaten van bodemchemische en -fysische parameters in 2005

Parameter	Eenheid	Behandelingen					P-waarde
		NO	KASN2	KASN4	STALN2	STALN4	
Vochtgehalte	% in verse grond	10.3	11.7	8.6	11.6	9.7	NS
C-totaal	% in droge grond	2.43bc	2.9abc	2.37c	3.50a	3.37ab	0.081
Org.stof	% in droge grond	4.12b	5.60a	3.50bc	5.80a	5.40ab	0.017
N-totaal	% in droge grond	0.15b	0.19ab	0.13bc	0.20a	0.21a	0.018
pH-KCl	-log[H <sup>+</sup> ]	4.88cd	5.00c	4.75d	5.33b	5.58a	<0.001
Dichtheid	g cm <sup>3</sup>	1.28	1.25	1.34	1.28	1.19	NS
<b>Indringingsweerstand</b>							
0-10 cm	mPa	1.13	1.32	1.15	1.41	1.20	NS
10-20 cm	mPa	1.90	2.11	2.09	2.31	2.27	NS
20-30 cm	mPa	2.41	2.69	2.60	2.71	2.87	NS
30-40 cm	mPa	2.61	3.24	3.05	3.11	3.02	NS
40-50 cm	mPa	2.41	2.96	2.38	2.40	2.37	NS
<b>Bodemstructuur 0-10 cm</b>							
Kruimel	%	41.6	51.2	50.2	54.7	42.5	NS
Afgerond	%	53.1	43.7	42.5	42.0	48.9	NS
Scherp	%	5.3	5.0	7.3	3.3	8.6	NS
<b>Wortels</b>							
10 cm diepte	# m <sup>2</sup>	10675	9575	6300	7425	5075	NS
20 cm diepte	# m <sup>2</sup>	5069	2331	2356	1549	3963	NS

### 3.2.2 Biologisch (2004 en 2005)

#### Regenwormen

De biomassa van wormen (Tabel 5 en 6) was in beide jaren laag voor blijvend grasland. Omgerekend lag de biomassa in de laag 0-20 cm tussen de 240 en 820 kg ha<sup>-1</sup> in 2004 en tussen de 110 en 460 kg ha<sup>-1</sup> in 2005. Onder grasland op zandgrond wordt meestal een wormenbiomassa tussen de 400 en 1500 kg ha<sup>-1</sup> gemeten (Van Eekeren et al., 2003).

**Tabel 5** Effect van mestsoort en bemestingsniveau op biomassa, aantallen wormen, aantal soorten wormen en aantal macroporiën in 2004

Parameter	Eenheid	Behandelingen						P-waarde
		NUL	KASN3	STALN3	HUMN3	DRM1N3	DRM2N3	
<b>Regenwormen</b>								
Totaal aantal	# m <sup>2</sup>	144	125	269	144	231	175	NS
Totale biomassa	g m <sup>2</sup>	58	24	82	49	63	67	NS
Aantal soorten	# 20x20x20 cm <sup>-1</sup>	1.25	1.00	1.25	1.75	1.25	1.50	NS
<b>Macroporiën</b>								
10 cm diepte	# m <sup>2</sup>	6c	13bc	63a	38abc	25abc	56abc	0.081
20 cm diepte	# m <sup>2</sup>	- <sup>1)</sup>	-	-	-	-	-	-

<sup>1)</sup> Niet bepaald

In beide jaren was er geen effect van de bemestingsbehandelingen op aantal, biomassa of aantal soorten van de regenwormen. Het aantal macroporiën (gevormd door de wormen) was in 2004 echter het laagst bij NUL en het hoogst bij STAL. Het aantal macroporiën was bij STAL significant hoger dan bij KAS of NUL. In 2005 werden deze verschillen niet herhaald.

**Tabel 6** Effect van mestsoort en bemestingsniveau op biomassa, aantallen wormen, aantal soorten wormen en aantal macroporiën in 2005

Parameter	Eenheid	Behandelingen					P-waarde
		NUL	KASN2	KASN4	STALN2	STALN4	
<b>Regenwormen</b>							
Totaal aantal	# m <sup>2</sup>	125	125	35	120	88	NS
Totale biomassa	g m <sup>2</sup>	45	46	11	31	22	NS
Aantal soorten	# 20x20x20 cm <sup>1</sup>	1.25	1.50	0.75	1.37	1.00	NS
<b>Macroporiën</b>							
10 cm diepte	# m <sup>2</sup>	50	50	19	44	25	NS
20 cm diepte	# m <sup>2</sup>	0	25	0	13	6	NS

*Potwormen*

Het aantal gemeten potwormen in 2005 (Tabel 7) was laag ten opzichte van de landelijk gemeten waarden onder grasland op zandgrond van 17.000-40.000 m<sup>2</sup> (van Eekeren et al., 2003). De behandelingen STALN2 en STALN4 haalden de ondergrens van deze range, vooral wat betreft de biomassa van potwormen die landelijk een range van 2,1-5,4 g m<sup>2</sup> heeft. Bemesting leidde tot een relatieve toename van de *Marionina* groep. De significant hogere aantallen potwormen bij de stalmestbehandelingen vergeleken met de kunstmestbehandelingen werden ingevuld door grotere aantallen *Fridericia* (NS) en *Marionina* (significant hoger bij STALN2 ten opzichte van NUL en KASN2 en significant hoger bij STALN4 ten opzichte van NUL).

**Tabel 7** Effect van mestsoort en bemestingsniveau op biomassa, aantallen en aantal soorten potwormen in 2005

Potwormen	Eenheid	Behandelingen					P-waarde
		NUL	KASN2	KASN4	STALN2	STALN4	
Totaal aantal	# m <sup>2</sup>	7737b	7516b	7737b	16137a	13175a	0.055
Totale biomassa	g m <sup>2</sup>	1.92ab	1.16b	1.24b	2.07ab	2.44a	0.073
Aantal soorten	#	3.75	4.00	3.75	4.00	4.00	NS
<i>Fridericia</i>	# m <sup>2</sup>	2918	1901	1150	6101	6012	NS
<i>Marionina</i>	# m <sup>2</sup>	1503c	3095bc	3891abc	6543a	6366ab	0.033
<i>Enchytraeus</i>	# m <sup>2</sup>	3316	2520	2697	3492	796	NS

*Springstaarten en mijten*

De aantallen springstaarten en mijten (Tabel 8) waren hoog ten opzichte van de landelijk gemeten waarden onder grasland op zandgrond, 30.000-40.000 per m<sup>2</sup> (van Eekeren et al., 2003). De grote verschillen tussen behandelingen waren echter niet significant. Significante verschillen werden wel gevonden in aantallen springstaarten en mijten in voedselgroep FG7. Deze springstaarten en mijten, die foerageren op schimmels, waren bij behandeling STALN4 significant groter in aantal dan bij de andere behandelingen. Bij de indeling van springstaarten en mijten in overlevingsstrategieën springt eveneens de behandeling STALN4 er uit met significant grotere aantallen in groep LH2. Dit zijn springstaarten en mijten met een facultatieve 'phoresy' (soorten met een symbiotische relatie met andere springstaarten en mijten, waarbij ze voor transport gebruik maken van een andere soort).



**Tabel 8** Effect van mestsoort en bemestingsniveau op aantallen, voedselgroepen en overlevingsstrategieën van springstaarten en mijten in 2005

Springstaarten en mijten	Eenheid	Behandelingen					P-waarde
		NUL	KASN2	KASN4	STALN2	STALN4	
Totaal aantal	# m <sup>2</sup>	74675	105665	114575	73256	141701	NS
Aantal soorten	#	17.25	16.25	14.25	16.75	13.00	NS
<b>Voedselgroepen</b>							
FG2	# m <sup>2</sup>	0	452	339	110	550	NS
FG7	# m <sup>2</sup>	19831b	19642b	28588b	26681b	41209a	0.040
FG8	# m <sup>2</sup>	2020	3109	4008	1365	1105	NS
FG9	# m <sup>2</sup>	6033	6128	4631	5362	7643	NS
FG14	# m <sup>2</sup>	29056	67700	73544	26533	73597	NS
FG15	# m <sup>2</sup>	1585	1291	132	1306	505	NS
FG21	# m <sup>2</sup>	0	0	0	1252	0	0.007
FG24	# m <sup>2</sup>	3822	2491	1996	3173	847	NS
FG25	# m <sup>2</sup>	12328	4853	1337	7473	16245	NS
<b>Overlevingsstrategieën</b>							
LH2	# m <sup>2</sup>	9583b	11950b	5199b	20473ab	37375a	0.011
LH3	# m <sup>2</sup>	2183	194	339	675	2207	NS
LH4	# m <sup>2</sup>	0b	97b	339b	1362a	0b	0.016
LH5	# m <sup>2</sup>	17336	7905	3465	10906	16840	NS
LH6	# m <sup>2</sup>	1200	1058	0	0	0	NS
LH7	# m <sup>2</sup>	0	0	0	110	126	NS
LH10	# m <sup>2</sup>	3662	2732	3066	3708	1226	NS
LH11	# m <sup>2</sup>	40756	81730	102247	36022	83928	NS

### *Nematoden*

De normale range van vrijlevende nematoden, gemeten onder grasland op zand, ligt tussen de 4000 en 7000 100<sup>-1</sup> g grond (Van Eekeren et al., 2003). In 2004 lag het totaal aantal vrijlevende nematoden rond de ondergrens, maar in 2005 juist tegen de bovengrens aan (Tabel 9). Wat betreft voedselgroepen hadden de behandelingen met organische mest in 2004 de meeste bacterie-eters in aantallen en percentage (meeste verschillen echter niet significant). Daarentegen hadden deze behandelingen juist de minste planteneters in aantallen en percentage. Bij behandelingen NUL en KASN3 was dit andersom.

In 2005 zet deze trend zich bij STALN4 globaal voort: hoge aantallen bacterie-eters en lage aantallen planteneters. STALN2 wijkt daar echter in af. In 2004 week de onbemeste controle sterk af van de bemeste behandelingen wat betreft het aantal schimmeletende nematoden (verschillen niet significant). Dit was echter in 2005 niet het geval. In 2004 was bij de indeling op overlevingsstrategieën het percentage Cp-2 het hoogst, gevolgd door Cp-1, terwijl dit in 2005 precies andersom was. In 2005 waren er in tegenstelling tot in 2004 geen significante verschillen tussen de behandelingen per Cp groep. Wat betreft de Cp-2 groep had KASN3 in 2004 de hoogste waarde en STALN3 de laagste. Wat betreft de Cp-3 groep had HUMN3 de hoogste waarde, gevolgd door de andere behandelingen. De Cp-4 groep was het hoogste voor STALN3 en DRM2N3. De hoogste waarde voor de Cp-5 groep werd gevonden bij behandeling NUL en de laagste waarde bij behandeling DRM2N3. De verschillen in overlevingsstrategieën van de vrijlevende nematoden bij de verschillende behandelingen resulteerden uiteindelijk niet in een significant verschillende 'Maturity Index'. Wel was de 'Nematode Channel Ratio' (NCR) in 2004 significant het laagst bij behandeling NUL. In 2005 werden er geen verschillen in NCR gevonden.

**Tabel 9** Effect van mestsoort en bemestingsniveau op aantallen, voedselgroepen en overlevingsstrategieën van vrijlevende nematoden in 2004

Nematoden	Eenheid	Behandelingen						P-waarde
		NUL	KASN3	STALN3	HUMN3	DRM1N3	DRM2N3	
Totaal aantal	# 100 <sup>-1</sup> g grond	3886	4168	4157	3540	3870	3763	NS
<b>Voedselgroepen</b>								
Bacterie-eters	# 100 <sup>-1</sup> g grond	1315	1583	1964	1616	1964	1769	NS
Dauerlarven	# 100 <sup>-1</sup> g grond	7	19	75	58	169	19	NS
Planteneters	# 100 <sup>-1</sup> g grond	2166ab	2277a	1678b	1597bc	1436bc	1570bc	0.023
Schimmeleeters	# 100 <sup>-1</sup> g grond	179	106	79	118	79	96	NS
Alles-eters	# 100 <sup>-1</sup> g grond	218	167	317	127	203	243	NS
Rovers	# 100 <sup>-1</sup> g grond	0	14	44	24	9	55	NS
Bacterie-eters	%	34c	38bc	47ab	46ab	53a	47ab	0.008
Dauerlarven	%	0b	1b	2ab	2ab	4a	1b	0.057
Planteneters	%	56a	54ab	41cd	45bc	35d	42cd	0.002
Schimmeleeters	%	5a	3ab	2b	3ab	2b	3ab	0.094
Alles-eters	%	6	4	8	4	5	6	NS
Rovers	%	0	0	1	1	0	2	NS
<b>Overlevingsstrategieën</b>								
Cp-1	%	31	26	30	27	29	22	NS
Cp-2	%	50bc	61a	48c	51bc	57ab	57ab	0.019
Cp-3	%	6b	4b	6b	13a	5b	7b	0.031
Cp-4	%	5b	2b	13a	6b	7ab	13a	0.007
Cp-5	%	9a	8ab	3abc	2abc	2bc	1c	0.090
Aantal soorten		22	23	23	24	23	25	NS
Maturity Index (Cp 1-5)		2.12	2.04	2.10	2.10	1.97	2.12	NS
Nematode Channel Ratio		0.89b	0.94a	0.96a	0.94a	0.96a	0.95a	0.002

**Tabel 10** Effect van mestsoort en bemestingsniveau op aantallen, voedselgroepen en overlevingsstrategieën van vrijlevende nematoden in 2005

Nematoden	Eenheid	Behandelingen					P-waarde
		NUL	KASN2	KASN4	STALN2	STALN4	
Totaal aantal	# 100 <sup>-1</sup> g grond	8461	6992	6808	7685	8205	NS
<b>Voedselgroepen</b>							
Bacterie-eters	# 100 <sup>-1</sup> g grond	4231ab	2829c	2850c	3245bc	4749a	0.007
Dauerlarven	# 100 <sup>-1</sup> g grond	927a	159b	232b	158b	569ab	0.087
Planteneters	# 100 <sup>-1</sup> g grond	2686	3469	3207	3581	2126	NS
SchimmeleTERS	# 100 <sup>-1</sup> g grond	231	180	158	226	221	NS
Alles-eters	# 100 <sup>-1</sup> g grond	91	96	147	173	242	NS
Rovers	# 100 <sup>-1</sup> g grond	295	200	265	302	299	NS
Bacterie-eters	%	49ab	42b	44b	46b	58a	0.054
Dauerlarven	%	11a	2b	3b	2b	7ab	0.043
Planteneters	%	32b	48a	44a	42ab	26b	0.001
SchimmeleTERS	%	3	3	3	3	3	NS
Alles-eters	%	1	2	2	2	3	NS
Rovers	%						
<b>Overlevingsstrategieën</b>							
Cp-1	%	64	53	50	47	54	NS
Cp-2	%	21	33	35	34	34	NS
Cp-3	%	6	4	5	7	3	NS
Cp-4	%	2	4	3	5	6	NS
Cp-5	%	7	6	8	8	4	NS
<b>Aantal soorten</b>							
		22	22.0	22	25	22	NS
Maturity Index (Cp1-5)		1.66	1.77	1.84	1.92	1.72	NS
Nematode Channel Ratio		0.95	0.95	0.95	0.93	0.95	NS

### Microbiologie

De bacteriële biomassa's waren in 2004 en vooral ook in 2005 zeer laag voor grasland (Van Eekeren et al., 2003) (Tabel 11 en 12). Ook de schimmelbiomassa's waren in absolute zin zeer laag voor grasland maar in verhouding tot de bacteriële biomassa hoog. Er waren in beide jaren geen significante verschillen in bacteriële biomassa of schimmelbiomassa tussen de bemestingsvarianten.

In 2004 was de groeisnelheid van bacteriën, gemeten aan de hoeveelheid thymidine ingebouwd in het DNA, bij behandeling DRM1 significant hoger dan bij alle andere behandelingen. Bij HUM was de inbouw significant hoger vergeleken met KAS en NUL. In 2004 was ook de inbouw van leucine bij DRM1 significant hoger dan bij alle andere behandelingen, behalve bij HUM. In 2005 was de inbouw van thymidine significant hoger bij STALN4 vergeleken met NUL en KASN4. De 'potentiële N mineralisatie' en de 'potentiële mineraliseerbare N' waren in 2004 hoger bij de organische mestsoorten vergeleken met KAS. In 2005 waren beide parameters significant hoger voor STALN4 vergeleken met de andere behandelingen.

**Tabel 11** Effect van mestsoort en bemestingsniveau op microbiële biomassa en activiteit en op N- en C-mineralisatie in 2004

Parameter	Eenheid	Behandelingen						P-waarde
		NUL	KASN3	STALN3	HUMN3	DRM1N3	DRM2N3	
Bacteriële biom.	µg C g <sup>-1</sup> droge grond	51	41	52	53	56	57	NS
Thym. inbouw	Pmol g <sup>-1</sup> droge grond uur <sup>-1</sup>	43c	41c	53bc	74b	101a	65bc	0.001
Leuc. inbouw	Pmol g <sup>-1</sup> droge grond uur <sup>-1</sup>	583b	591b	638b	720ab	901a	652b	0.076
Schimmel biom	µg C g <sup>-1</sup> droge grond	15	14	17	14	15	16	NS
Schimmel act.	% of hyphale lengte	5	5	1	10	1	6	NS
Pot. N mineral.	mg N kg <sup>-1</sup> droge grond wk <sup>-1</sup>	8.97a	7.22b	9.65a	10.10a	9.57a	9.45a	0.024
Pot. mineral. N	mg N kg <sup>-1</sup> droge grond	65.1c	58.8c	80.1ab	82.6ab	88.9a	72.8bc	0.004
Pot. C-mineral.	mg C kg <sup>-1</sup> droge grond wk <sup>-1</sup>	88.8	81.4	109.3	117.8	83.4	94.9	NS
Respiratie	mg CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> droge grond wk <sup>-1</sup>	750	822	950	1010	918	1022	NS

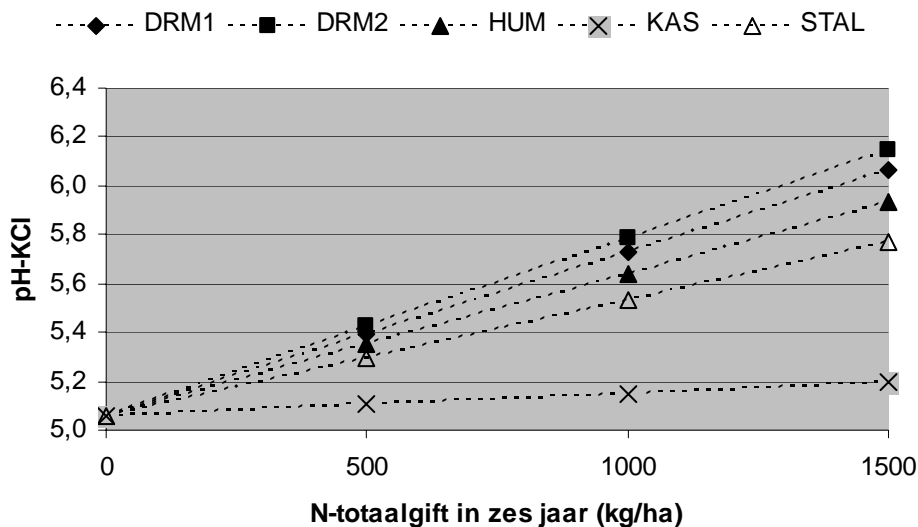
**Tabel 12** Effect van mestsoort en bemestingsniveau op microbiële biomassa en activiteit en op N- en C-mineralisatie in 2005

Parameter	Eenheid	Behandelingen					P-waarde
		NUL	KASN2	KASN4	STALN2	STALN4	
Bacteriële biom.	µg C g <sup>-1</sup> droge grond	26	24	21	31	26	NS
Thym. inbouw	Pmol g <sup>-1</sup> droge grond uur <sup>-1</sup>	18b	27ab	18b	24ab	37a	0.061
Leuc. inbouw	Pmol g <sup>-1</sup> droge grond uur <sup>-1</sup>	210	278	252	248	329	NS
Schimmel biom.	µg C g <sup>-1</sup> droge grond	23	22	18	22	19	NS
Schimmel act.	% of hyphale lengte	30ab	35a	22ab	13b	23ab	0.093
Pot.N mineral.	mg N kg <sup>-1</sup> droge grond wk <sup>-1</sup>	5.22c	6.23bc	5.57c	6.66b	8.76a	0.001
Pot.mineral. N	mg N kg <sup>-1</sup> droge grond	52.2c	55.9bc	48.5c	66.0b	91.1a	<0.001
Pot.C-mineral.	mg C kg <sup>-1</sup> droge grond wk <sup>-1</sup>	55.4bc	60.1bc	45.9c	61.4ab	85.4a	0.044
Respiratie	mg CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> droge grond wk <sup>-1</sup>	907b	917b	972b	1087ab	1378a	0.059

### 3.2.3 Chemisch 0-20 cm (2005)

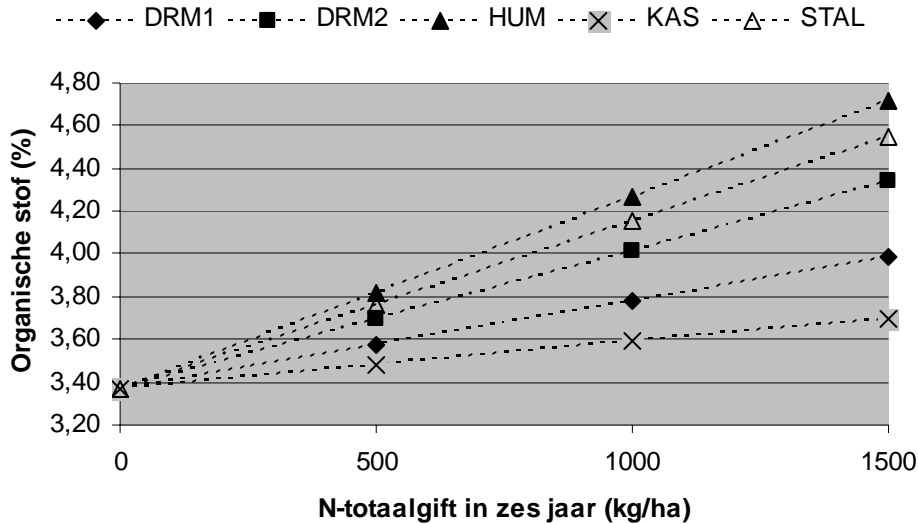
De startwaarde van de pH-KCl in 2000 was 6,1 (De Boer et al, 2004). Niet bemesten (N=0) leidde tot een forse daling van de pH van 6,1 tot 5,1 in zes jaar tijd (Figuur 2). Bemesten met KAS had geen invloed op deze daling; bij de hoogste N-gift (1500 kg N-totaal in zes jaar tijd) had de pH een waarde van 5,2 in 2005. Bij bemesting met organische meststoffen zwakte de daling sterk af. Bij de hoogste gift bleef bij bemesting met drijfmest de pH gehandhaafd op de beginwaarde. Bemesten met humest en stalmest zwakte de daling sterk af, maar de pH was eind 2005 toch nog afgenomen van 6,1 tot achtereenvolgens 5,9 en 5,8. Bemesten met organische meststof bleek een belangrijk positief effect te hebben op de pH als onderdeel van de bodemkwaliteit.

**Figuur 2** pH-KCl na zes jaar bemesting, afhankelijk van type meststof en de totale N-gift in die periode



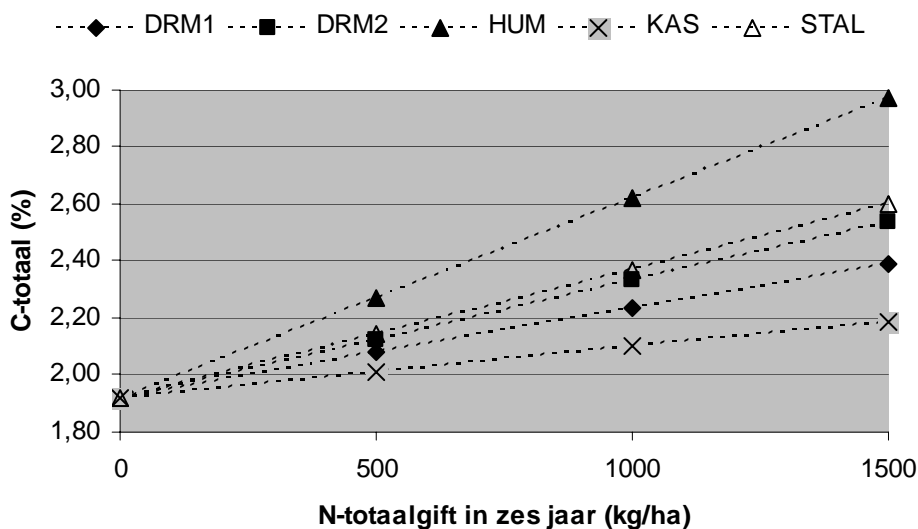
Het gehalte organische stof startte in 2000 met een waarde van 3,3% (De Boer et al., 2004). Bemesting had bij alle mestsoorten een toename van het gehalte tot gevolg (figuur 3). Zonder N-bemesting bleef het organische stofgehalte op het beginpeil. De sterkste toename in gehalte werd gerealiseerd bij bemesting met humest, gevolgd door stalment, drijfmest2, drijfmest1 en KAS. Zes jaar bemesting met humest had bij een N-totaalgift van 1500 kg ha<sup>-1</sup> een stijging van het gehalte van 3,3 tot 4,7% tot gevolg. Bemesting met KAS had bij een N-totaalgift van 1500 kg ha<sup>-1</sup> een stijging van 3,3 tot 3,7% tot gevolg.

**Figuur 3** Gehalte organische stof (% van droge grond) na zes jaar bemesting, afhankelijk van type meststof en de totale N-gift in die periode



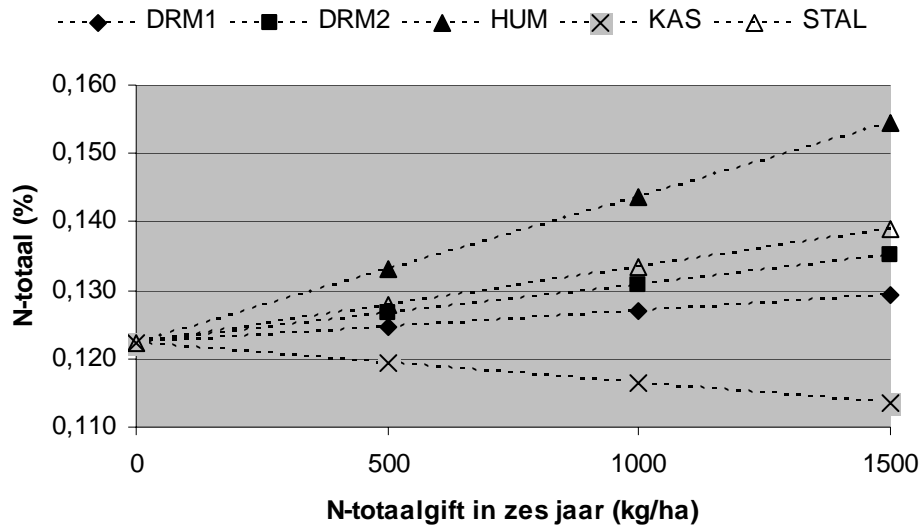
In 2000 was geen beginwaarde van C-totaal gemeten. Wordt echter aangenomen dat het percentage C-totaal in de organische stof op de onbemeste veldjes gelijk bleef, dan kan het begingehalte op 1,9% worden geschat (N=0, figuur 4). C-totaal nam toe als gevolg van bemesting. De sterkste toename werd gerealiseerd bij bemesting met humest, gevolgd door stalment, drijfmest2, drijfmest1 en KAS. Deze volgorde is hetzelfde als de volgorde in toename van het gehalte organische stof. De toename in C-totaal was bij bemesting met humest echter aanzienlijk sterker dan de toename bij bemesting met andere mestsoorten.

**Figuur 4** Gehalte C-totaal (% van droge grond) na zes jaar bemesting, afhankelijk van type meststof en de totale N-gift in die periode



De beginwaarde van het N-totaalgehalte in 2000 is niet gemeten. Wordt de waarde op de onbemeste veldjes (N=0) in eerste instantie als referentie genomen, dan was er bij bemesting met alle mestsoorten, behalve KAS, sprake van een toename van de N-voorraad in de bodem (figuur 5). Bij bemesting met KAS nam de N-voorraad af naarmate de gift hoger was. Bij een totaalgift van 1500 kg N ha<sup>-1</sup> daalde de N-totaal van 0,122 tot 0,113% (-7%). De sterkste toename van N-totaal werd gerealiseerd bij bemesting met humest (26%), gevolgd door stalmest (14%), drijfmest2 (10%) en drijfmest1 (6%). Deze volgorde is identiek aan de volgorde bij organische stof en C-totaal.

**Figuur 5** Gehalte N-totaal (% van droge grond) na zes jaar bemesting, afhankelijk van type meststof en de totale N-gift in die periode



Met behulp van de dichtheid van de grond kan de totale N-voorraad in laag 0-20 cm berekend worden. De dichtheid van de grond kan per behandeling berekend worden met de formule uit de Bemestingsadviesbasis (Anonymous, 2002) (paragraaf 1.2.2.3):  $dichtheid = 1 / ((0,02525 * \text{gehalte organische stof}) + 0,6541)$ . De N-voorraad voor de onbemeste controle is dan:  $10.000 \times 0,2 \times 1000 \times 1,353 \times 1,22$  (g N-totaal kg<sup>-1</sup> g droge grond) = 3309 kg ha<sup>-1</sup>. Met behulp van de N-opbrengst op de onbemeste objecten in de eerste vier jaar van het onderzoek kan een schatting gemaakt worden van de voorraad N aan het begin van het onderzoek in 2000. De onttrekking was gemiddeld 139 kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> (De Boer et al., 2004). Aangenomen dat er per jaar 20 kg N ha<sup>-1</sup> verloren ging en dat de jaarlijkse N-depositie 50 kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> was (MNP, 2006), dan was de totale N-mineralisatie uit de bodem gedurende de proefperiode  $6 \times (139 - 50 + 20) = 654$  kg ha<sup>-1</sup> en de beginvoorraad N  $(3309 + 654) = 3963$  kg ha<sup>-1</sup>. De graszode op de nulveldjes bevatte minder dan 1% klaver (bijlage 2), zodat N-binding door klaver geen rol gespeeld heeft. De verandering in N-voorraad gedurende de proefperiode bij een N-totaalgift van 1500 kg ha<sup>-1</sup> is per bemeste behandeling gegeven in Tabel 13

**Tabel 13** Verandering van de N-voorraad (kg N ha<sup>-1</sup>) in bodemlaag 0-20 cm na zes jaar bemesting met geen of verschillende meststoffen

Mestsoort	Voorraad N begin 2000 (kg ha <sup>-1</sup> )	Voorraad N eind 2005 (kg ha <sup>-1</sup> )	Verandering (%)
geen	3963	3309	-17
KAS	3963	3035	-23
drijfmest1	3963	3430	-13
drijfmest2	3963	3536	-11
humest	3963	3994	+1
stalmest	3963	3616	-9

Met behulp van de formule uit Anonymous (2002) konden ook de NLV's eind 2005 berekend worden. Deze waren achtereenvolgens 90, 84, 95, 99, 112 en 102 kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> voor de onbemeste behandeling, KAS, drijfmest1, drijfmest2, humest en stalmest.

## 4 Discussie

### 4.1 Statistische analyse drogestofopbrengst

De aanpassing van  $\alpha_0$  en  $\alpha_1$  in de loop van de zes proefjaren is lineair gemodelleerd. Deze keuze is gemaakt omdat de dataset uit een relatief korte serie waarnemingen bestaat, waardoor het relatief moeilijk is om effecten van kalenderjaar en volgjaar te scheiden. Bij een langere serie was het wellicht mogelijk geweest om per combinatie van mestsoort-N-gift evenwichtsituaties voor  $\alpha_0$  en  $\alpha_1$  te vinden met behulp van niet-lineaire relaties voor de aanpassing in de tijd. De lineaire benadering van de aanpassing zal een mogelijk beginnende afvlakking negeren. Echter, omdat daar in de residucontrole nog weinig van te zien is, is de lineaire benadering goed verdedigbaar. Ter volledigheid moet opgemerkt worden dat de aanpassing in de tijd er al minder lineair uitziet, omdat het model op logschaal is, waardoor de aanpassingen per jaar al procentuele effecten zijn. Het model is niet geschikt om te extrapoleren naar langere periodes, bijvoorbeeld tien volgjaar of meer.

### 4.2 Ontwikkeling drogestofopbrengst in relatie tot bodemkwaliteit

Omdat het moeilijk is om de effecten van kalenderjaar en volgjaar te scheiden (paragraaf 4.1), kunnen relatief droge of natte jaren aan het begin of einde van de proefperiode een relatief grote invloed op de trends uitoefenen. Uit de gegevens van de neerslag, gewasverdamping en het neerslagoverschot (Bijlage 4) blijkt echter niet dat er sprake was van duidelijke trends gedurende de proefperiode. Een duidelijk effect van het weer op de opbrengsttrends kan daarom worden uitgesloten.

Zonder N-bemesting daalde de opbrengst gedurende de proefperiode sterk. Het gehalte organische stof in de bodem bleef gelijk, evenals het gehalte C-totaal. De pH en de N-voorraad in de bodem daalden allebei. De daling van de pH was niet zodanig dat een duidelijk negatief effect op de opbrengst verwacht mag worden. Daarom kan geconcludeerd worden dat de daling van de opbrengst op de onbemeste veldjes waarschijnlijk het gevolg was van de daling van de N-voorraad in de bodem en daardoor van het N-leverend vermogen. De daling in drogestofopbrengst (-45%) was veel sterker dan de daling van de N-voorraad (-1,7%). Dit geeft aan dat vooral het aandeel makkelijk afbreekbare of omzetbare N in de bodemvoorraad is afgenomen.

De dalende trend in opbrengst bij bemesting met KAS was minder groot dan op het onbemeste object. Met andere woorden, bij bemesting met KAS leek er sprake te zijn van een opbouwende meeropbrengst ten opzichte van het onbemeste object. Het gehalte organische stof in de bodem nam toe van 3,3 tot 3,7% en het gehalte C-totaal van 1,9 tot 2,2%. De pH daalde bijna even sterk als op het onbemeste object en de N-voorraad in de bodem nam bij KAS als enige meststof af ten opzichte van het onbemeste object. De opbouwende meeropbrengst bij bemesting met KAS ten opzichte van het onbemeste object zou toegeschreven kunnen worden aan de stijging van het gehalte organische stof of C-totaal. Echter, gezien de duidelijke daling van de N-voorraad in de bodem ten opzichte van het onbemeste object, is het waarschijnlijker dat de meeropbrengst het gevolg is geweest van extra mineralisatie van bodem-N. Deze extra mineralisatie had op langere termijn kunnen leiden tot een versterkte afname van het opbrengstpotentieel van de bodem. Verhoging van de KAS-gift had gedurende het onderzoek de daling kunnen stoppen, maar tegelijkertijd ook geleid tot een grotere afname van de N-voorraad in de bodem (blijkt uit simulatie). Dit alles had bij voortzetting kunnen leiden tot een vicieuze cirkel, waarbij de opbrengstdaling had kunnen versnellen omdat er steeds minder N uit de bodemvoorraad gemineraliseerd was. Uiteindelijk was er dan een evenwicht bereikt, waarbij de opbrengst, vergeleken met de beginsituatie, zeer sterk afhankelijk was geweest van de hoeveelheid KAS die gegeven werd.

Bij bemesting met drijfmest1 was er sprake van een licht stijgende opbrengst gedurende de proefperiode en bij bemesting met drijfmest2 was er sprake van een afnemende opbrengst. Bemesting met drijfmest had een opbouwende meeropbrengst tot gevolg vergeleken met het onbemeste object. De pH bleef bij beide mestsoorten op het beginniveau, het gehalte organische stof nam sterk toe, evenals de C-totaal. Wel was er sprake van een duidelijke daling van de N-voorraad in de bodem ten opzichte van de beginsituatie. Het is een raadsel waarom er bij bemesting met drijfmest1 sprake was van een stijgende opbrengst, ondanks het feit dat de afname van de bodemvoorraad N groter was dan bij bemesting met drijfmest2. Mogelijk was hier sprake van een bodemkwaliteitseffect dat losstond van N-levering, en waardoor de opbrengst sterker kon toenemen bij eenzelfde N-gift en -onttrekking als bij drijfmest2. Binnen het kader van dit onderzoek is het echter niet mogelijk om aan te geven door welke bodemparameter(s) dit effect veroorzaakt kan zijn.

Het verschil in opbrengstontwikkeling tussen drijfmest1 en drijfmest2 maakt duidelijk hoe groot het effect van de herkomst van drijfmest kan zijn op bodemkwaliteit, en daarmee op de opbrengst. Drijfmest1 kwam van een 'gemiddeld' Nederlands melkveebedrijf; het rantsoen van de koeien die drijfmest2 produceerden had een afwijkende samenstelling, met relatief veel snijmais en weinig krachtvoer (De Boer et al., 2004). Daarnaast was aan het rantsoen van de koeien die drijfmest2 produceerden FIR-MMC<sup>®</sup> toegevoegd.

Bij bemesting met humest of stalmest was er sprake van een sterk negatieve trend in opbrengst tijdens de proefperiode. Evenals bij bemesting met de andere mestsoorten was er sprake van een opbouwende meeropbrengst vergeleken met de situatie zonder bemesting, maar deze opbouw was relatief gering. De pH daalde bij bemesting met beide mestsoorten licht vergeleken met de uitgangssituatie, maar het gehalte organische stof en C-totaal nam sterk toe. De N-voorraad bleef bij bemesting met humest op het beginniveau, maar nam bij bemesting met stalmest duidelijk af. Uit de combinatie van gegevens bij bemesting met humest blijkt dat de toevoeging van relatief grote hoeveelheden organische stof, C-totaal en N-totaal weinig effect had op de opbrengsttrend. Het beeld ontstaat dat deze organische stof en N vrijwel passief in de bodem aanwezig waren. Dit kan veroorzaakt zijn doordat de organische stof moeilijk afbreekbaar was, maar ook doordat het bodemleven weinig actief was. De geringe activiteit van het bodemleven kan deels veroorzaakt zijn door een tekort aan vrije N, dat nodig is voor voldoende activiteit van het bodemleven (vooral bacteriën). Uit de Boer et al. (2004) blijkt dat er bij bemesting met humest of stalmest op snedebasis soms sprake was van netto N-immobilisatie in de bodem in plaats van mineralisatie. Toediening van alleen humest of stalmest was duidelijk geen geschikte manier om de effectieve bodemkwaliteit (leidend tot meer gewasopbrengst) te verhogen. Mogelijk had stimulering van het bodemleven (al dan niet in combinatie met bemesting) meer effect gehad.

De duur van dit onderzoek was met zes jaar kort. De La Lande Kremer (1953) heeft halverwege de vorige eeuw de resultaten van enkele langlopende onderzoeken aan stalmest in Nederland tussen 1900 en 1950 beoordeelt. Het langstlopende onderzoek op grasland lag op Ameland (Ballum), was aangelegd in 1899 en lag op het moment van de studie al ruim 50 jaar. De La Lande Kremer (1953) constateerde dat in de laatste 10 jaar van het onderzoek de opbrengst (hooiopbrengst eerste snede) van het stalmestobject op de proefvelden WF1 en WF2 (53 jaar) hoger leek te worden vergeleken met het kunstmestobject dat bemest was met NPK. Met stalmest werd echter in totaal veel meer (organische) N gegeven (5100 versus 1850 kg over de proefperiode), met kunstmest veel meer P (5260 versus 2550 kg) en iets meer K (5425 versus 5100 kg). Op WF3 (49 jaar) bleven de stalmestobjecten steeds achter, en op WF4 (49 jaar) waren er geen duidelijke verschillen. De La Lande Cremer (1953) meldt verder dat het humusgehalte op de stalmestveldjes 0,5 tot 2% hoger waren, en op het slecht ontwaterde WF3 zelfs 5%. Beginwaarden zijn echter niet gegeven. Verder was op de stalmestobjecten de botanische samenstelling na 42 jaar beter dan op het kunstmestobjecten. Dit kan echter het gevolg zijn geweest van de hogere N-bemesting van de stalmestvelden. Vanwege de onbalans in bemesting en het ontbreken van gegevens kunnen op basis van de analyse van De La Lande Kremer (1953) geen conclusies getrokken worden over verschillen in ontwikkeling van bodemkwaliteit en opbrengstpotentieel tussen organische mest en kunstmest op lange termijn.

In dit onderzoek is er gedurende zes jaar per behandeling steeds met één type meststof bemest. In de praktijk worden er gedurende het jaar vaak meerdere meststoffen gegeven. Zo wordt bijvoorbeeld bemesting met drijfmest gecombineerd met KAS. Deze combinatie kan leiden tot een minder snel afnemende N-voorraad in de bodem vergeleken bij bemesting met alleen KAS. Was bemesting met drijfmest1 onder de proefomstandigheden gecombineerd geweest met KAS, dan had KAS beter matig gegeven kunnen worden. Bij combinatie van stalmest of humest met KAS, zou de goed beschikbare N uit KAS de afbraak van organische stof uit deze meststoffen kunnen stimuleren, en daarmee ook de N-benutting. Echter, De La Lande Cremer (1953) vond in zijn overzicht van de resultaten van het stalmestonderzoek tussen 1900 en 1950 geen aanwijzingen dat een gecombineerde toediening van stalmest en kunstmest de werking per eenheid toegediende N verhoogde.



### 4.3 Fysische en biologische bodemkwaliteit in 2004 en 2005

#### *Fysische bodemkwaliteit*

De lagere bodemweerstand en -dichtheid van HUMN3 ten opzichte van andere behandelingen wordt mogelijk verklaard door de opbouw van een dikkere strooisellaag. De resultaten van 2004 worden echter niet bevestigd in 2005, en ook niet eenduidig door de resultaten van de andere vaste mestsoort stalmest. De observatie van een hogere wortelmassa bij een hogere N-gift is tegenstrijdig met resultaten van Ennik (1981). In dat onderzoek werd echter de gehele biomassa gemeten, terwijl in dit onderzoek alleen de wortelmassa in laag 0-10 cm werd bepaald. Het is mogelijk dat er bij KASN3 alleen in laag 0-10 cm, en niet in diepere bodemlagen, sprake was van een intensievere beworteling. Dit wordt echter niet bevestigd door de wortelaantallen.

#### *Regenwormen*

De gebruikte mestsoorten hadden nauwelijks effect op de wormenparameters. Over het algemeen worden op graslanden geen grote effecten van mestsoorten gevonden. Edwards en Lofty (1982) constateerden een toename van het aantal wormen met 11% bij bemesting van grasland met vaste mest. Een mogelijke verklaring voor de geringe effecten is de grote toevoer van organische stof uit de graszode, waardoor de aanvoer van organische stof met mest minder belangrijk is.

#### *Potwormen*

Bij bemesting met stalmest was het aantal potwormen significant hoger dan bij bemesting met kunstmest en bij de onbemeste controle. Vooral de aantallen in de *Fridericia*- en de *Marionina*-groep waren hoger (alhoewel vaak niet significant). Dit lijkt logisch, omdat de *Fridericia*-groep zich voedt met vers strooisel en de *Marionina*-groep met verder afgebroken organisch materiaal. Standen (1982) vond een positieve relatie tussen de diversiteit van soorten en het gebruik van vaste mest. Deze relatie werd echter in ons onderzoek niet gevonden. Na interpretatie van gegevens van De Goede en Brussaard (2001) werd een relatie gevonden tussen het aantal potwormen en de drogestofopbrengst (van Eekeren et al., 2003). Ook deze relatie werd in het ons onderzoek niet gevonden.

#### *Springstaarten en mijten*

De aantallen springstaarten en mijten waren relatief hoog voor grasland. Siepel en Van de Bund (1988) geven aan dat bij hogere bemestingsniveaus het aantal springstaarten en mijten afneemt. In een proef in Ierland, met hoge doseringen varkensdrijfmest (tot 115 ton ha<sup>-1</sup>), werd ook geen groot effect op aantallen springstaarten en mijten gevonden (Bolger en Curry, 1984). Onze resultaten laten het tegengestelde zien. In een analyse van bodemvoedselwebstructuren door Smeding et al., 2005 werden ook hoge aantallen springstaarten en mijten gevonden bij intensieve melkveebedrijven op zand. Smeding et al. (2005) brachten dit in verband met de terugval van andere groepen, waardoor er minder competitie of predatie is. Dit zou kunnen wijzen op een voedselwebstructuur met weinig metabolisme, waarin de opengevallen ruimte wordt ingenomen door springstaarten en mijten. Dit fenomeen lijkt ook op deze podzolgrond zichtbaar. Effecten van het verschil in mestsoort zijn in deze proef alleen zichtbaar in de samenstelling van voedselgroepen en overlevingsstrategieën. In het onderzoek van Bolger en Curry (1984) werden verschillen in soortensamenstelling alleen gevonden als er een zekere laagvorming van de mest optrad.

#### *Nematoden*

Het percentage bacterie-etende nematoden was in 2004 gemiddeld hoger bij bemesting met organische mest vergeleken met de onbemeste controle en bemesting met kunstmest. Dit effect werd ook gevonden in Canada, waar runderdrijfmest werd vergeleken met een onbemeste controle en kunstmest (Forge et al., 2005). Volgens Forge et al. (2005) is dit een indicatie dat er bij organische bemesting een hogere microbiële omzetting en een grotere flux van nutriënten door het bodemvoedselweb optreedt dan bij bemesting met kunstmest of geen bemesting. Een toename van het aantal bacterie-etende nematoden bij bemesting met organische mest werd ook gevonden door Bardgett et al. (1998) en Dmowska en Kozłowska (1988). In ons onderzoek werd in 2004 een lager percentage plantetende nematoden gevonden bij bemesting met organische mestsoorten vergeleken met kunstmest. Lagere aantallen bacterie-etende nematoden en hogere aantallen plantetende nematoden bij kunstmestbemesting ten opzichte van drijfmest werden ook gevonden in een potproef van het project Bivoem (Van Eekeren et al., 2006). Een mogelijke verklaring voor deze hogere aantallen is de hogere wortelbiomassa in de laag 0-10 cm bij de kunstmestbehandeling en de onbemeste controle vergeleken met de behandelingen met organische mest. De bemestte behandelingen verschilden niet significant wat betreft de 'Maturity Index'.

In onderzoek van Forge et al. (2005) en van Eekeren et al. (2006) werd een hogere MI gevonden bij de onbemeste controle ten opzichte van de bemeste behandelingen. Dit werd veroorzaakt door lagere aantallen nematoden met de overlevingsstrategie Cp-1.

#### *Microbiologie*

De bacteriële- en schimmelbiomassa was in 2004 en 2005 niet significant verschillend tussen de verschillende bemestingsbehandelingen. Wel was de bacteriële activiteit (inbouw van thymidine en leucine) in beide jaren significant hoger bij de organische mestsoorten, met de hoogste waarde voor DRM1N3. Resultaten in de literatuur zijn wisselend. In Engels onderzoek werd de microbiologische biomassa niet beïnvloedt door bemesting, maar was er wel een positief effect op de microbiële activiteit (Lovell et al., 1995). In Canadees onderzoek werd bij bemesting met runderdrijfmest of kunstmest gedurende zes jaar een hogere bacteriële biomassa gevonden dan bij de onbemeste controle (Bitman et al., 2005). Ook Bardgett et al. (1998) vonden een positief effect op de microbiële biomassa, maar juist weer niet op de bacteriële activiteit. De potentiële aerobe en anaerobe N-mineralisatie was het hoogst bij de organische mestsoorten. Vooral een hogere potentiële anaerobe N-mineralisatie kan een indicator zijn voor de aanwezigheid van makkelijk afbreekbare organische stof.

#### 4.4 N-balans en -verliezen

Door de gegevens van de verandering in N-voorraden te combineren met de totale N-gift en N-opname door het gewas over de proefperiode (gegevens uit de Boer et al., 2004), kan een N-balans per mestsoort opgesteld worden. Bij de N-opname door het gewas wordt aangenomen dat de gemiddelde jaarlijkse opname gedurende de eerste vier jaar gelijk was aan de jaarlijkse opname in de laatste twee jaar. Bij bemesting met KAS werd gedurende de proefperiode  $(6 \times 200) = 1200$  kg N uit KAS toegediend. Er werd ongeveer  $(6 \times 237) = 1422$  kg N opgenomen, de geschatte N-depositie was  $(6 \times 50) = 300$  kg en de bodemvoorraad daalde met 873 kg (bij werkelijke totaalgift van 1200 in plaats van 1500 kg ha<sup>-1</sup>). Dit betekent dat er netto  $(1200 + 300 + 873 - 1422) = 951$  kg N verloren ging. Gecorrigeerd voor het verlies op het onbemeste object, 120 kg N ha<sup>-1</sup>, ging er netto 831 kg ha<sup>-1</sup> verloren. Wordt dit verlies volledig toegeschreven aan de meststof, dan ging 69% van de met KAS toegediende N verloren naar het milieu. Wordt dit verlies uitgedrukt als percentage van de totale voor het gras beschikbare hoeveelheid N (gecorrigeerd voor controle), dan ging 37% verloren. Het percentage verlies toegeschreven aan de meststof nam af in de volgorde KAS, stalmest, drijfmest1, drijfmest2 en humest (Tabel 14). Het verlies uitgedrukt als percentage van de totaal beschikbare hoeveelheid N (excl. onbemeste object) nam af in de volgorde stalmest, KAS, drijfmest1, drijfmest2 en humest.

**Tabel 14** Enkele posten van de berekening van het N-verlies per mestsoort, uitgedrukt als % van de N gegeven met meststof of de totaal beschikbare N over de proefperiode

Mestsoort	Totale N-gift mestsoort	Totale hoeveelheid beschikbare N <sup>1)</sup>	Totale hoeveelheid opgenomen N	Verlies als % van N met meststof	Verlies als % van totaal beschikbare N
geen	0	954	834	-	12
KAS	1200	2373	1422	69	37
drijfmest1	1541	2371	1452	52	36
drijfmest2	1582	2297	1458	45	33
humest	1621	1838	1170	34	32
stalmest	1541	2179	1206	55	41

<sup>1)</sup> N-gift + N-depositie + verandering N in bodem

## 5 Conclusies

- Bij bemesting met alle mestsoorten, behalve drijfmest1, was er sprake van een dalende opbrengsttrend gedurende de proefperiode;
- Deze daling werd veroorzaakt doordat de afname van N-levering uit de oorspronkelijke bodemvoorraad, als gevolg van mineralisatie, niet in voldoende mate werd gecompenseerd door directe levering en nalevering van N uit de meststof;
- Bij drijfmest1 was de opbrengsttrend positief: vergeleken met het beginjaar was de opbrengst in het eindjaar 5% hoger, bij een gelijke N-totaalbemesting ( $260 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ ) als met de overige mestsoorten;
- Mogelijk werd deze opbrengststijging veroorzaakt door een positief effect van bodemkwaliteit dat losstond van N-levering;
- Bij alle mestsoorten nam het gehalte organische stof en C-totaal in de bodem toe vergeleken met het begingehalte in 2000; bij de onbemeste controle bleef het gehalte gelijk;
- De bodemvoorraad N nam bij alle mestsoorten, behalve humest, af ten opzichte van de beginvoorraad. De daling nam af in de volgorde KAS, NUL, DRM1, DRM2, STAL, HUM;
- De (relatieve) toename van het gehalte organische stof, C-totaal en N-totaal ging samen met een dalende opbrengsttrend;
- In dit onderzoek leidde een hoger gehalte organische stof, C-totaal of N-totaal op zich niet tot hogere opbrengsten;
- Bij bemesting met organische meststoffen kon de pH van de bodem goed op peil worden gehouden. Bij bemesting met alleen KAS daalde de pH sterk;
- De N uit humest en stalmest gaf nauwelijks nalevering in volggaren. Blijkbaar was deze N moeilijk afbreekbaar of was het bodemleven onvoldoende actief;
- Drijfmesten van verschillende herkomst (maar gelijke gehalten organische stof, N-totaal en  $\text{N-NH}_4$ ) kunnen sterk verschillen wat betreft hun effect op ontwikkeling van bodemkwaliteit en opbrengst;
- Bij bemesting met alleen drijfmest1 bleef de opbrengst op peil bij een jaarlijkse N-totaalgift van  $225 \text{ kg ha}^{-1}$ , 10% lager dan de N-gebruiksnorm voor dierlijke mest ( $250 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ ). Bij bemesting op de gebruiksnorm nam de opbrengst licht toe, van 10,2 tot  $10,5 \text{ ton ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ ;
- Bij bemesting met alleen drijfmest2 was een jaarlijkse gift van  $380 \text{ kg N ha}^{-1}$  nodig om de opbrengst op peil te houden. Dit ondanks een sterkere toename van de chemische bodemkwaliteit dan bij drijfmest1. Bij bemesting op de gebruiksnorm dierlijke mest daalde de opbrengst van 10,8 tot  $9,8 \text{ ton ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ ;
- Bij bemesting met KAS had de opbrengst op peil kunnen blijven bij een jaarlijkse gift van  $430 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Gezien de daarmee gepaard gaande afname van de bodemvoorraad N zou het op de wat langere termijn onmogelijk zijn geweest om de opbrengst op het aanvangsniveau te houden;
- Bij zes jaar bemesting op een suboptimaal N-niveau gingen grote hoeveelheden N verloren naar het milieu. Uit de opgestelde N-balansen blijkt dat bij bemesting met KAS, drijfmest1, drijfmest2, humest en stalmest achtereenvolgens 69, 52, 46, 34 en 55% van de aan de meststof toegerekende N verloren ging;
- De bodembioologische activiteit op het proefveld was in het algemeen laag;
- De microbiologische biomassa was laag, de aantallen nematoden waren wisselend, de hoeveelheid wormen en potwormen was laag maar springstaarten en mijten waren extreem hoog. Dit zou kunnen wijzen op een voedselwebstructuur met weinig metabolisme, waarin de opengevallen ruimte wordt ingenomen door springstaarten en mijten;

- De bemesting met verschillende mestsoorten op verschillende niveaus leidde niet tot grote verschuivingen in de bodembiologische parameters;
- De hogere aantallen plantetende nematoden bij de behandeling met kunstmest worden mogelijk verklaard doordat kunstmest een meer direct effect op de gewasgroei, en daarmee op de wortelgroei en het aantal plantetende nematoden heeft;
- Bij bemesting met organische mestsoorten werd het verloop van afbraakprocessen via het bodemvoedselweb iets meer gestimuleerd dan bij geen bemesting of bemesting met kunstmest. Dit uitte zich in een toename van het aantal potwormen, meer bacterie-etende nematoden en een hogere bacteriële activiteit;

De behandeling DRM1 liet een extreem hoge bacteriële activiteit zien. Daarnaast gaf de hoge anaerobe N-mineralisatie bij deze behandeling aan dat de organische stof van goede kwaliteit was. Deze twee observaties bieden mogelijk een verklaring voor de waargenomen stijgende trend in drogestofopbrengst.

## 6 Aanbevelingen

De resultaten van dit kortdurende onderzoek op één locatie en één grondsoort, en het gebrek aan kennis over het effect van bemesting van Nederlands grasland met diverse soorten meststoffen op de lange termijn, geven aan dat er behoefte is aan lange-termijn onderzoek op dit gebied. Dit is des te dringender geworden na de invoer van de verscherpte mestwetgeving in 2006, en de mogelijkheid dat na 2009 de derogatie niet verlengd wordt. In dat geval mag grasland met niet meer dan  $170 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$  uit dierlijke mest bemest worden. Dit had in het voorliggende onderzoek van slechts zes jaar tot een flinke daling van de opbrengst (-10% tot -20%) en kwaliteit van de grond geleid. In het oog vallende resultaten uit dit onderzoek zijn vooral het relatief gunstige effect van bemesting met drijfmest (type 1) op het opbrengende vermogen van de grond, het negatieve effect van bemesting met (alleen) kunstmest, maar ook de grote verschillen tussen twee drijfmesten van verschillende herkomst. Bemesting van Nederlandse graslanden met suboptimale hoeveelheden drijfmest kan op de langere termijn leiden tot een structurele daling van het opbrengende vermogen van de grond. Daarom is er behoefte aan lange-termijn onderzoek op meerdere locaties en grondsoorten om deze effecten te monitoren. Ook een mogelijke toename van de hoeveelheid co-vergiste drijfmest (minder organische stof, minder toevoeging van N aan bodemvoorraad) of anderszins bewerkte mest op de markt kan op de lange termijn gevolgen hebben voor de ontwikkeling van bodemkwaliteit van Nederlandse landbouwgronden. Onderzoek of monitoring zal voor een periode van tientallen jaren (zie de La Lande Kremer (1953) uitgevoerd moeten worden om effecten goed in kaart te brengen. Behandelingen waarin organische mest met kunstmest wordt gecombineerd zouden onderdeel moeten zijn van dergelijk onderzoek.

## Bijlagen

### Bijlage 1 Giften organische mest, bemestingsdatums

**Tabel 15** Gift (ton product ha<sup>-1</sup>) met de organische mestsoorten, per jaar en per snede

Mestsoort	Snede	N-niveau	Jaar	
			2004	2005
DRM	1	N1	18,9	17,2
	1	N2, N3, N4	35,1	35,7
FDRM	1	N1	17,2	16,6
	1	N2, N3, N4	35,8	33,3
HUM	1	N1	10,0	10,0
	1	N2, N3, N4	20,0	20,0
STAL	1	N1	15,0	17,0
	1	N2, N3, N4	30,0	34,0
DRM	2	N1, N2	0	0
	2	N3	18,9	18,4
	2	N4	35,1	35,3
FDRM	2	N1, N2	0	0
	2	N3	18,9	17,9
	2	N4	33,6	33,8
HUM	2	N1, N2	0	0
	2	N3	10,0	10,0
	2	N4	20,0	20,0
STAL	2	N1, N2	0	0
	2	N3	15,0	17,0
	2	N4	30,0	34,0

**Tabel 16** Bemestingsdatums per mestsoort, jaar en snede

Jaar	Snede	Datum	N-niveau	Mestsoort
2004	1	25-02-2004	N2, N3, N4	HUM, STAL
		04-03-2004	N1, N2, N3, N4	DRM, FDRM
		09-03-2004	N1, N2, N3, N4	KAS
	2	22-03-2004	N1	HUM, STAL
		17-05-2004	N3, N4	KAS
		18-05-2004	N3, N4	DRM, FDRM, HUM, STAL
2005	1	11-01-2005	N1, N2, N3, N4	HUM, STAL
		22-03-2005	N1, N2, N3, N4	DRM, FDRM
		30-03-2005	N1, N2, N3, N4	KAS
	2	11-05-2005	N3, N4	KAS
		12-05-2005	N3, N4	HUM, STAL
		13-05-2005	N3, N4	DRM, FDRM

**Bijlage 2** Botanische samenstelling

**Tabel 17** Aantal belangrijke botanische kenmerken in oktober 2005, in % van totale bezetting

Mestsoort	Ntrap	Ntrap(Ntot)	Totale bezetting	Engels raaigras	Rode klaver	Witte klaver	Kruiden	Gras
DRM1	N1	75	93	55	0	0	27	74
DRM1	N2	150	93	70	0	0	7	93
DRM1	N3	225	94	72	0	0	11	90
DRM1	N4	300	93	67	0	0	11	90
DRM2	N1	75	90	57	0	0	25	76
DRM2	N2	150	93	57	2	1	18	83
DRM2	N3	225	95	66	0	0	7	94
DRM2	N4	300	93	62	0	0	8	92
HUM	N1	75	94	72	1	1	7	94
HUM	N2	150	91	66	0	0	15	86
HUM	N3	225	91	58	0	0	25	76
HUM	N4	300	94	78	0	0	4	97
KAS	N1	50	93	59	0	0	22	78
KAS	N2	100	95	76	0	0	5	96
KAS	N3	150	94	67	0	0	7	94
KAS	N4	200	93	54	0	1	11	89
NUL	N0	0	93	58	0	1	27	73
STAL	N1	75	91	48	1	1	31	69
STAL	N2	150	95	65	0	1	11	90
STAL	N3	225	95	75	0	0	8	92
STAL	N4	300	94	66	0	1	13	88

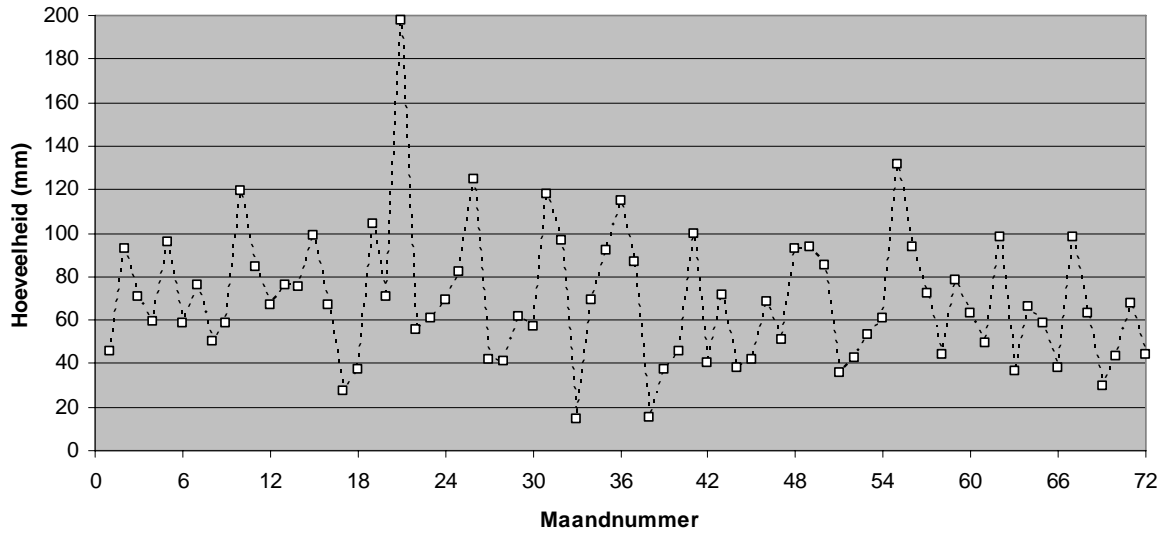
**Bijlage 3** Oogstdatums

**Tabel 18** Oogstdatums per jaar per snede

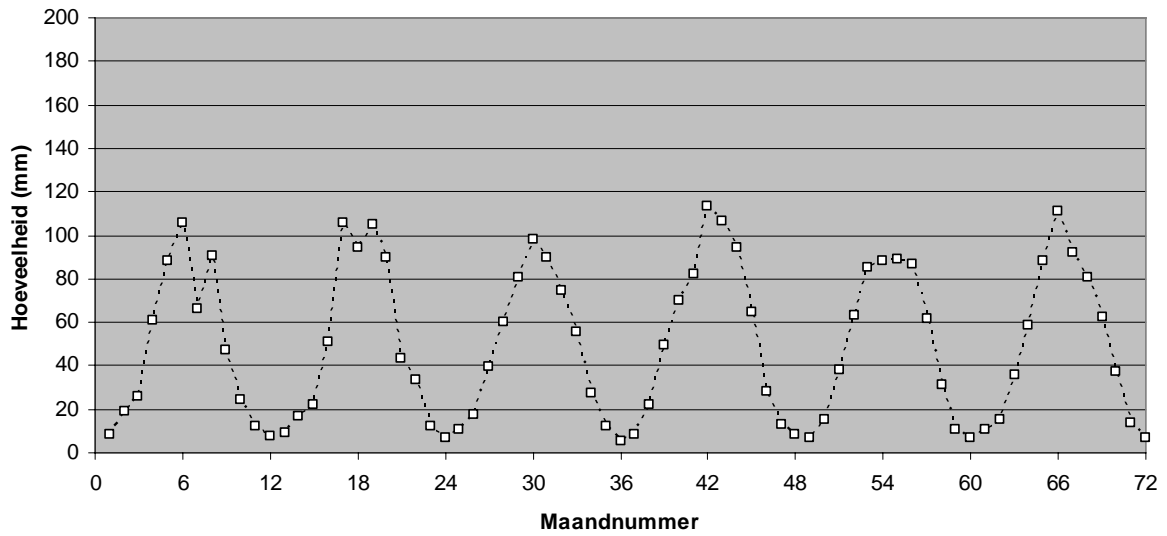
Jaar	Snede			
	1	2	3	4
2004	14-05-2004	22-06-2004	03-08-2004	28-09-2004
2005	10-05-2005	23-06-2005	17-08-2005	06-10-2005

**Bijlage 4** Neerslaggegevens

**Figuur 6** Hoeveelheid neerslag (mm) over de proefperiode

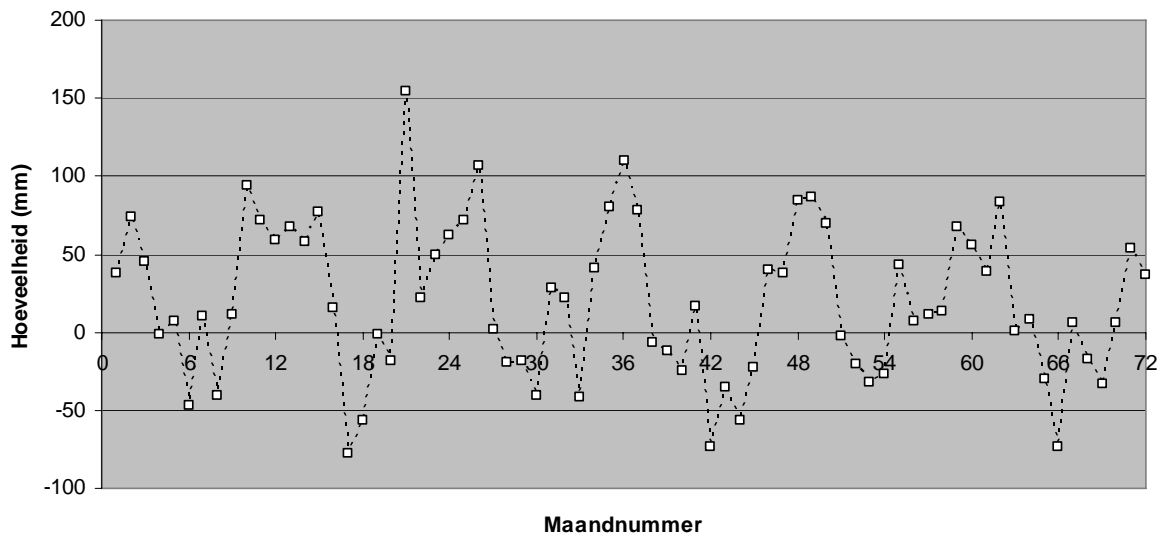


**Figuur 7** Gewasverdamping (mm) over de proefperiode





**Figuur 8** Neerslagoverschot (mm) over de proefperiode



## Literatuur

- Anonymus 2002. Adviesbasis bemesting grasland en voedergewassen. Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen, Lelystad.
- Bardgett, R.D., Keiller, S., Cook, R., Gilburn, A.S. 1998. Dynamic interactions between soil animal and microorganisms in upland grassland soils amended with sheep dung: a microcosm experiment. *Soil Biology & Biochemistry* 30, 531-539.
- Bitman, S., Forge, T.A., Kowalenko, C.G. 2005. Response of the bacterial and fungal biomass in a grassland soil to multi-year applications of dairy manure slurry and fertilizer. *Soil Biology & Biochemistry* 37, 613-623.
- Bloem, J., Vos, A. 2004. Fluorescent staining of microbes for total direct counts. In: Kowalchuk, G.A., De Bruijn, F.J., Head, I.M., Akkermans, A.D.L., Van Elsas, J.D. (Eds.), *Molecular Microbial Ecology Manual*, 2nd edition, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 861-874.
- Bloem, J., Schouten, A.J., Sørensen, S.J., Rutgers, M., Van der Werf, A., Breure, A.M. 2006. Monitoring and evaluating soil quality. In: Bloem J., Hopkins, D.W., Benedetti, A. (Eds.), *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*, CABI, Wallingford, UK, pp. 23-49.
- Bloem, J., Veninga, M., Shepherd J., 1995. Fully automatic determination of soil bacterium numbers, cell volumes and frequencies of dividing cells by confocal laser scanning microscopy and image analysis. *Applied and Environmental Microbiology* 61, 926-936.
- Bloem, J., Lebbink, G., Zwart, K.B., Bouwman, L.A., Burgers, S.L.G.E., De Vos, J.A., De Ruiter, P.C. 1994. Dynamics of microorganisms, microbivores and nitrogen mineralization in winter wheat fields under conventional and integrated management. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 51, 129-143.
- Bolger T., Curry J.P. 1984. Influences of pig slurry on soil microarthropods in grassland. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol* 21, 269-281.
- Canali, S., Benedetti, A. 2006. Soil nitrogen mineralization. In: Bloem, J., Benedetti, A., Hopkins, D.W. (eds.), *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*. CABI, Wallingford, UK, pp. 127-135.
- De Goede, R., Brussaard L. 2001. Voorlopige resultaten van het bodembologisch onderzoek binnen de veldproef van het Mineralenproject VEL en VANLA: Effecten van toevoegmiddelen en mestaanwendig op de bodemfauna en bodemrespiratie. In: Verhoeven, F. (ed.), *Een nieuw milieuspoor: Tussenrapportage mineralenproject VEL en VANLA 1998-2000*, Wageningen Universiteit en Praktijkonderzoek Veehouderij, 21 pp.
- De La Lande Cremer, L.C.N. 1953. Het stalment- en gierbemestingsonderzoek op bouw- en grasland in Nederland tussen 1900 en 1952. Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O., Groningen, 55 pp.
- De Boer, H.C., André G., Schils R.L.M. 2004. Aanvoer van organische mest op grasland: stikstofterugwinning en effect op chemische bodemkwaliteit. *PraktijkRapport Rundvee 60*, Animal Sciences Group (WUR), Lelystad, 46 pp.
- Didden, W.A.M., 1991. Population ecology and functioning of Enchytraeidae in some arable farming systems. *Proefschrift Wageningen Universiteit*, 116 pp.
- Dmowska, W., Kozłowska, J. 1988. Communities of nematodes in the soil treated with semi-liquid manure. *Pedobiologia* 32, 323-330.
- Edwards, C.A., Lofty, J.R. 1982. Nitrogenous fertilizers and earthworm populations in agricultural soils. In: Satchell, J.E (ed.), *Earthworm ecology: from Darwin to vermiculture*. Chapman and Hall, London.
- Ennik, G.C. 1981. Grasgroei en beworteling. CABO-verslag nr. 38, Centrum voor Agro Biologisch Onderzoek, Wageningen.

Forge, T.A., Bittman, S., Kowalenko, C.G. 2005. Response of grassland soil nematodes and protozoa to multi-year and single-year applications of dairy slurry and fertilizer. *Soil Biology & Biochemistry* 37, 1751-1762.

Keeney, D.R., Nelson D.W. 1982. In: Black, C.A., Evans, D.D., White, J.L., Ensminger, L.E., Clark, F.E. (eds.), *Methods of soil Analysis, Part 2, Nitrogen - Inorganic forms*. American Society of Agronomy, Madison WI, pp.682-687.

Lovell, R.D., Jarvis, S.C., Bardgett, R.D. 1995. Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: effects of management changes. *Soil Biology & Biochemistry* 27, 969-975.

MNP, 2006. Milieu en Natuur Planbureau, Bilthoven.

Payne, R.W, Harding, S.A., Murray, D.A., Soutar, D.M., Baird, D.B., Welham, S.J., Kane, A.F., Gilmour, A.R., Thompson, R., Webster, R., Tunnicliffe Wilson, G. 2005. *Genstat Release 8 Reference Manual*. VSN International, Wilkinsonroad House, Jordan Hill Road, Oxford, UK.

Schouten, A.J., Bloem, J., Breure, A.M., Didden, W.A.M., Van Esbroek, M., De Ruiter, P.C., Rutgers, M., Siepel, H., Velvis, H. 2000. Pilot project Bodembioologische Indicator voor Life Support Functies van de bodem. Rapport 607604001, RIVM, Bilthoven.

Siepel H., Van de Bund C.F. 1988. The influence of management practises on the microarthropod community of grassland. *Pedobiologica* 31, 339-354.

Smeding, F.W., Van Eekeren N., Schouten A.J., 2005. Bodemvoedselwebben op melkveebedrijven - Methode voor een kwalitatieve analyse van de voedselwebstructuur. Intern rapport 14, Bioveem, Lelystad, 36 pp.

Standen V., 1982. Associations of enchytraeidae (oligochaeta) in experimentally fertilized grasslands. *Journal of Animal Ecology* 51, 501-522.

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

Van Eekeren, N., De Visser, M., André G., Lantinga, E., Bloem J., Smeding F. 2006. Effect van mestkwaliteit op gewasgroei en bodemleven: een verkennende potproef. Bioveem rapport 19, 34 pp.