

Animal Sciences Group

Divisie Veehouderij, kennispartner voor de toekomst



process for progress

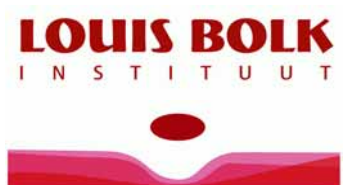
Rapport 47

Bodemverdichting door berijden bij zodebemesten: effecten op opbrengst en voederwaarde van gras-klaver, bodemstructuur en biologische bodemkwaliteit

Mei 2007



ANIMAL SCIENCES GROUP
WAGENINGEN UR



Colofon

Uitgever

Animal Sciences Group / Veehouderij
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

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



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.

Abstract

ISSN 1570-8616

De Boer H.C. and Van Eekeren N.

Title: Soil compaction due to trafficking during slurry injection: effects on yield and nutritional value of grass-clover, soil structure and biological soil quality (2007)

Report 47, 20 pages, 23 tables

Machinery traffic during slurry injection on a wet soil in the spring had little to no effect on soil structure and biological soil quality. Grass-clover yield was only slightly lower (4%) in the first of five cuts

Keywords: soil compaction, slurry injection, soil quality, soil structure, wheel tracks, trafficking

Referaat

ISSN 1570-8616

De Boer H.C. en Van Eekeren N.

Titel: Bodemverdichting door berijden bij zodebemesten: effecten op opbrengst en voederwaarde van gras-klover, bodemstructuur en biologische bodemkwaliteit (2007)

Rapport 47, 20 pagina's, 23 tabellen

Berijden bij zodebemesten in het voorjaar op een natte bodem had weinig effect op bodemstructuur en biologische bodemkwaliteit. De opbrengst van gras-klover was alleen licht lager (4%) in de eerste van vijf sneden

Trefwoorden: bodemverdichting, zodebemesten, bodemkwaliteit, bodemstructuur, sporen, berijden



Bodemverdichting door berijden bij zodebemesten: effecten op opbrengst en voederwaarde van gras-klover, bodemstructuur en biologische bodemkwaliteit

Soil compaction due to trafficking during slurry injection: effects on yield and nutritional value of grass-clover, soil structure and biological soil quality

H.C. de Boer (ASG)

N. van Eekeren (LBI)

Voorwoord

Deze publicatie is tot stand gekomen in het kader van het project '100% biologische mest', als onderdeel van het LNV onderzoeksprogramma 'Biologische veehouderij'. In dit programma werken de Animal Sciences Group (ASG) (Wageningen UR) en het Louis Bolk Instituut (LBI) samen ter ondersteuning van een kosteneffectieve en onderscheidende biologische veehouderij.

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 microbiologische bepalingen zijn uitgevoerd door Jaap Bloem (Alterra, Wageningen UR). Ton Schouten en Jaap Bloem hebben ook commentaar geleverd op de conceptrapportage.

In Nederland vindt het meeste onderzoek voor biologische landbouw en voeding plaats in voornamelijk door het ministerie van LNV gefinancierde onderzoeksprogramma's. Aansturing hiervan gebeurt door Bioconnect, het kennisnetwerk voor de Biologische Landbouw en Voeding in Nederland (www.bioconnect.nl). Hoofduitvoerders van het onderzoek zijn de instituten van Wageningen UR en het Louis Bolk Instituut. Zij werken in de cluster Biologische Landbouw (LNV gefinancierde onderzoeksprogramma's) nauw samen. Dit rapport is binnen deze context tot stand gekomen. De resultaten van de onderzoeksprogramma's vindt u op de website www.biokennis.nl. Vragen en/of opmerkingen over het onderzoek aan biologische landbouw en voeding kunt u mailen naar: info@biokennis.nl

Samenvatting

In de (biologische) melkveehouderij is bemesting van grasland met organische mest, zoals drijfmest, belangrijk voor het handhaven van opbrengstniveau en bodemkwaliteit. Drijfmest wordt voornamelijk door middel van zodebemesten aan grasland toegediend. Tijdens het bemesten kan door het berijden de bodemstructuur door spoorvorming verslechteren. De kans hierop is het grootst in het vroege voorjaar, wanneer de bodem relatief nat is. Verslechtering van de bodemstructuur kan leiden tot verlies van opbrengst en verslechtering van de overige bodemkwaliteit. Op biologische bedrijven bevat het grasland meestal klaver, om door middel van stikstofbinding in de stikstofbehoefte te kunnen voorzien. Klaver is vanwege dikkere wortels gevoeliger voor verdichting dan gras. Praktijkwaarnemingen aan grasland met klaver, bereiden onder natte omstandigheden, geven aanleiding tot vragen als (1) wat is het effect van berijden op opbrengst en voederwaarde van gras-klaver in de eerste en volgsneden?; (2) in hoeverre doet berijden het positieve effect van bemesting teniet? en (3) is het misschien zelfs beter om de eerste snede in bepaalde gevallen niet te bemesten? Deze vragen werden in 2005 onderzocht in een veldproef op blijvend grasland met klaver. Drijfmest werd uitgereden op een bodem die bij betreding te nat leek voor een verantwoorde drijfmesttoediening. Op 10 en 14 maart werd 30 ton drijfmest per ha uitgereden met een 25 ton zware, getrokken zodebemester. Op beide tijdstippen was de bodem ongeveer op veldcapaciteit en waren er geen verschillen in vochtgehalte in de eerste 60 cm. Na uitrijden waren duidelijke sporen zichtbaar, hoewel de schade minder erg was dan verwacht. Na het uitrijden werden de veldjes niet meer bemest en werden in totaal vijf sneden gras geoogst. Berijden leidde tot een significante ($P < 0,05$) gemiddelde daling van de drogestofopbrengst van de eerste snede van 4,9 ton ha⁻¹ op het onbereden oppervlak naar 4,4 ton ha⁻¹ in de sporen. Wel of niet bemesten had hierbij geen effect. In de volgende vier sneden waren er geen effecten meer van berijden op de drogestofopbrengst. Berijden in het voorjaar had in geen van de vijf sneden effect op de eiwitopbrengst en het gemiddelde aandeel klaver in de drogestof. Daarnaast had berijden ook geen duidelijk effect op het gehalte eiwit, suiker en de VC-os van de eerste twee geanalyseerde sneden. Berijden had verder ook geen effect op de bodemdichtheid (0-30 cm), het vochtgehalte (0-30 cm), de bodemstructuur (0-20 cm), het aantal wortels en macroporiën (0-20 cm), de biomassa van bacteriën en schimmels (0-10 cm), het aantal wormen en ontwikkelingsstadia van de wormen (0-20 cm), het aantal en de soorten nematoden (0-10 cm) en vier verschillende N-mineralisatieparameters (0-10 cm). De indringingsweerstand in de laag 0-60 cm was steeds lager in de sporen; alleen in de lagen 20-30 en 30-40 cm ($P = 0,06$) was dit verschil niet significant. Negen weken na het berijden op 14 maart leek de biomassa van de regenwormen in de sporen afgenomen ($P = 0,09$) ten opzichte van het onbereden oppervlak. Door berijden nam het celvolume van de bacteriën significant toe, wat kan wijzen op minder predatie door protozoën en nematoden in het ondergrondse voedselweb. Bemesten van de eerste snede had een negatief effect op het klaveraandeel van de eerste drie sneden, op de drogestofopbrengst van de tweede snede en op de eiwitopbrengst van de tweede en derde snede. Het negatieve effect van bemesten op het klavergehalte werd waarschijnlijk veroorzaakt door een combinatie van stikstofbemesting en schade aan de zode (door snijden). Berijden had in ons onderzoek alleen effect op de drogestofopbrengst van de eerste snede en veroorzaakte geen duidelijke verslechtering van de bodemstructuur of het bodemleven. Daarom is de conclusie dat de opbrengstdaling veroorzaakt werd door schade aan de graszode in plaats van aan de bodemstructuur. Blijkbaar was op het moment van uitrijden de bodem niet te nat of de machine te zwaar voor een verantwoorde drijfmesttoediening. Omgerekend naar het oppervlak sporen op een praktijkperceel (sporen en kopakkers) daalde de praktijkopbrengst van de eerste snede met ongeveer 4%. Hoewel berijden en bemesten enkele negatieve effecten op drogestof- en eiwitopbrengst hadden, was de opbrengst bij berijden en bemesten hoger dan wanneer er niet bemest was. Bemesten van de eerste snede was in dit onderzoek dus zinvol.

Summary

In (organic) dairy farming, fertilization of grassland with manure, such as slurry, is important to maintain yield level and soil quality. Slurry is mainly applied by shallow injection (4 cm) into grassland. During injection, machinery traffic may adversely affect soil structure, resulting in compaction. This risk is highest in early spring, when the soil is relatively wet. Deterioration of soil structure can lead to yield loss and deterioration of other soil quality aspects. On organic farms in the Netherlands, grassland usually contains (white) clover for nitrogen fixation. Because clover roots are thicker than grass roots, clover is even more sensitive to compaction than grass. Observations from grassland with clover, being worked on under wet conditions, gave rise to questions such as (1) what is the effect of traffic on grassland on yield and feed value of grass-clover in the first and following cuts?; (2) to what extent does trafficking reduce the positive effects of fertilization on yield? and (3) will it be wiser not to apply slurry in early spring? These questions were investigated in 2005 in a field experiment on permanent grassland with clover. Slurry was applied to a field that seemed too wet when walked on. On 10 and 14 March, 30 Mg ha⁻¹ cattle slurry was applied with a 25 Mg weighing, pulled slit-injector. At both application times, soil moisture content was around field capacity and there were no differences in soil moisture content in the upper layer of 60 cm. Treatments were non-trafficked plots with and without slurry application and plots trafficked with and without slurry application. After a single pass of the machinery, tracks were clearly visible, though the damage was less severe than expected. After the single pass, the plots were not fertilized anymore, and the grass-clover sward was harvested five times. The single pass resulted in a significant ($P < 0.05$) average decrease of dry matter yield from 4.9 Mg ha⁻¹ on the undisturbed area to 4.4 Mg ha⁻¹ in the tracks. Fertilization with slurry did not affect this decrease. In the following four harvests, there was no residual effect of trafficking on dry matter yield. The single pass did not affect clover content in the following five cuts. Furthermore, the single pass had no effect on protein content, sugar content or the digestibility of organic matter (in-vitro) of the first two harvests analyzed. The single pass had no effect either on soil density (0-30 cm), soil moisture content (0-30 cm), visible soil structure (0-20 cm), number of roots and macropores (0-20 cm), bacterial or fungal biomass (0-10 cm), number and development stage of earthworms (0-20 cm), number and species distribution of nematodes (0-10 cm) and four different N-mineralization parameters (0-10 cm). Soil penetrability in the upper layer of 60 cm was always higher in the tracks, but not significantly in 20-30 cm and 30-40 cm ($P = 0.06$). Nine weeks after the single pass on 14 March, biomass of earthworms under the tracks seemed to have decreased ($P = 0.09$) compared to the non-trafficked area. As a result of trafficking, the cell volume of bacteria had significantly increased. This could point to lower predation by protozoa and nematodes in the soil food web. Fertilization of the first cut with slurry had a negative effect on the clover content of the first three cuts, on the dry matter yield of the second cut and on the nitrogen yield of the second and third cut. The negative effect of fertilization was probably caused by a combination of N-supply and damage to the sward (slit cutting). A single pass had, in our research, only effect on the dry matter yield of the first cut, and did not negatively affect soil structure or soil life. Therefore, we can conclude that the negative effect on dry matter yield was caused by damage to the grass sod instead of damage to soil structure. At the moment the slurry was injected, the soil was not too wet or the machinery too heavy. Taking into account the total track area, yield of the first cut would have decreased by about 4% on a practical field. Though trafficking and fertilization had some negative effects, the yield clearly increased. Therefore, application of slurry in spring was a sensible decision.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Materiaal en methoden	2
2.1	Proefopzet	2
2.2	Uitvoering	2
3	Resultaten	8
3.1	Spoorvorming	8
3.2	Drogestofopbrengst	8
3.3	N-gehalte	9
3.4	N-opbrengst	9
3.5	Klaveraandeel in drogestof	9
3.6	Voederwaarde overig	10
3.7	Fysische- en biologische bodemkwaliteit	11
4	Discussie	14
5	Conclusies	16
Bijlagen		17
Bijlage 1	Proefveldschema	17
Bijlage 2	Opbrengst en voederwaarde proefveldjes	18
Literatuur		20

1 Inleiding

In de (biologische) melkveehouderij is bemesting van grasland met organische mest van groot belang voor het handhaven van opbrengstniveau, bodemvruchtbaarheid en bodemkwaliteit. Een groot deel van de beschikbare drijfmest wordt door middel van zodebemesten toegediend aan grasland, op biologische bedrijven meestal grasland met klaver. Bij bemesten onder natte omstandigheden, zoals in het voorjaar, kan door het berijden de bodemstructuur verslechteren. Dit kan leiden tot verlies van opbrengst en afname van bodemkwaliteit. Op basis van praktijkwaarnemingen (gras in sporen groeit slechter) en metingen in het project Bioveem (Schröder et al., 2006) rijzen vragen als:

- wat is het effect van berijden op de opbrengst en voederwaarde van gras-klaver in de eerste en volgsneden?
- in hoeverre doet berijden het positieve effect van bemesting teniet?
- is het misschien zelfs beter om de eerste snede in bepaalde gevallen niet te bemesten?

In 2005 werden deze vragen onderzocht in een veldproef. De geplande voortzetting van het onderzoek in 2006 was niet mogelijk vanwege het ontbreken van financiële middelen.

2 Materiaal en methoden

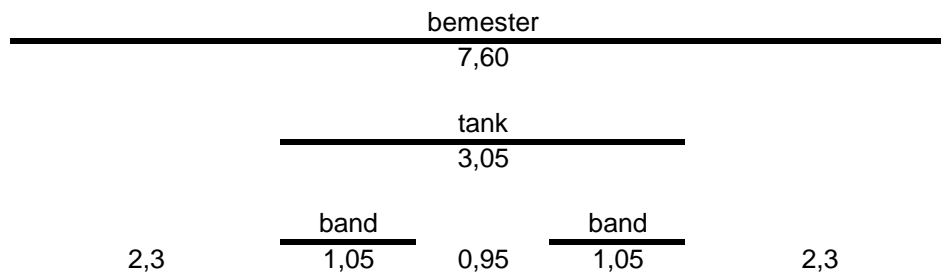
2.1 Proefopzet

De proefopzet was een gerandomiseerde split-plot proef met 8 behandelingen in 5 herhalingen. De behandelingen waren per herhaling samengevoegd in een blok. De factoren waren:

- tijdstip van mest uitrijden: 10 of 14 maart
- bemesten: wel of niet
- berijden: wel of niet

Het tijdstip van mest uitrijden was geen onderwerp van onderzoek, maar resulteerde uit de poging om drijfmest op een voldoende natte bodem uit te rijden. De gegevens van beide tijdstippen zijn wel samen geanalyseerd alsof tijdstip van toediening een factor was. Uit praktische overwegingen werd de proefveldindeling aangepast aan de afmetingen van de werkgang van de zodebemester (Figuur 1). Bij de opbrengstbepaling werd over het midden van het eerste bandenspoor van een werkgang (eerste gezien vanaf voorkantzijde proefveld, Bijlage 1) een strook van 1,5 m breed en 10 m lang uitgemaaid. Deze strook vormde het netto veldje van de behandeling ‘wel berijden’, en bestond in de breedte uit 1,05 m spoor (70%) en 0,45 m onbereden oppervlak (30%). Links van de gemaaide strook werd aansluitend een andere strook van 1,5 x 10 m uitgemaaid. Deze strook vormde het netto veldje van de behandeling ‘niet berijden’. De twee veldjes vormden samen een plot.

Figuur 1 Afmetingen (m) van de werkgang



De veldjes waren in totaal 15 m lang. De eerste 10 m werd gebruikt voor opbrengstbepalingen; de laatste 5 m voor bodembepalingen. Het proefveldschema is gegeven in Bijlage 1.

2.2 Uitvoering

Locatie

Het onderzoek werd uitgevoerd op een perceel blijvende gras-klover van praktijkcentrum ‘Aver Heino’ te Heino (Overijssel). De zode was ruim 10 jaar oud. Gekozen werd voor een perceel (nr. 22-25) dat vanwege zijn relatief lage ligging (beekeerdgrond) in het voorjaar relatief nat is, waardoor structuurbederf verwacht kon worden. De graszode bevatte op het moment van bemesten enkele procenten klover (als aandeel in drogestof).

Bodem

Op 25 februari 2005 werd, voor aanvang van het onderzoek, laag 0-10 cm van het proefveld bemonsterd (40 steken in diagonale lijnen over proefveld) en door het Bggg te Oosterbeek geanalyseerd op een aantal parameters (Tabel 1).

Tabel 1 Uitslag bodembemonstering en -analyse op 25 februari 2005

Parameter	Eenheid	Waarde
organische stof	g kg ⁻¹ droge grond	55
pH-KCl	-log[H ⁺]	5,9
N-totaal	g N kg ⁻¹ droge grond	2,44
C-totaal	g C kg ⁻¹ droge grond	29,4
C/N-verhouding	-	12,0
P-totaal	g P ₂ O ₅ kg ⁻¹ droge grond	1,89
P-Al	g P ₂ O ₅ kg ⁻¹ droge grond	0,35
K-PAE	g K ₂ O kg ⁻¹ droge grond	0,16
Mg-PAE	g MgO kg ⁻¹ droge grond	0,28

Juist voor het tijdstip van uitrijden werd het proefveld tot een diepte van 60 cm iedere 10 cm bemonsterd om het vochtgehalte van de bodem te bepalen. Per laag werden, in een diagonaal patroon over het proefveld, 40 steken genomen en samengevoegd. Het vochtgehalte van iedere laag werd gravimetrisch bepaald door de verse verzamelmonsters te wegen, 36-48 uur te drogen bij 105 °C en terug te wegen. De vochtgehalten waren op beide tijdstippen van monsternamen vrijwel gelijk (Tabel 2).

Tabel 2 Vochtgehalte (% in verse grond) van de eerste 60 cm bodem, bemonsterd om de 10 cm, op 10 en 14 maart 2005

Laag (cm)	Tijdstip	
	10 maart 2005	14 maart 2005
0-10	25,8	26,4
10-20	22,3	23,1
20-30	21,6	21,0
30-40	19,0	20,8
40-50	18,5	18,3
50-60	17,3	17,7
0-60 (gem.)	20,8	21,2

Uitrijden drijfmest

Drijfmest werd uitgereden op 10 of 14 maart 2005. Het streven bij het eerste tijdstip was om de drijfmest uit te rijden op een bodem die bij betreding eigenlijk te nat leek om verantwoord drijfmest op uit te rijden. Hiervoor moest gewacht worden tot het aanwezige sneeuwdek gesmolten was. Op 10 maart was de bodem minder nat dan gehoopt, maar werd desondanks drijfmest voor het eerste tijdstip uitgereden. Omdat in de dagen daarna nog behoorlijk wat regen viel (7,5 mm op 12 maart en 6,5 mm op 13 maart), is besloten om op 14 maart weer drijfmest uit te rijden. Deze behandeling kwam in plaats van het voornemen om ook drijfmest onder droge omstandigheden uit te rijden. De gift op beide tijdstippen was 30 ton ha⁻¹, een gebruikelijke gift in het voorjaar.

Drijfmest werd op beide datums uitgereden met een zodebemester, bestaande uit een Ecoject 350 injectieblok gemonteerd op een knikdisseltank met 'hondegang' stand (bij inschakeling van de 'hondegang' stand rijden de banden van de zodebemester naast de sporen van de trekker, in plaats van over de sporen van de trekker. Dit geeft minder insporing). Beide machines waren afkomstig van fabrikant Veenhuis Machines B.V. (Raalte, Nederland). In uitgeklapte toestand was het injectieblok 7,6 meter breed en bevatte het 40 schijven, 4 per element geplaatst op een afstand van circa 19 cm van elkaar (Figuur 2).

Figuur 2 Achteraanzicht van de gebruikte zodebemester

Het injectieblok had een gewicht van circa 3 ton. De tank had een inhoud van 13 m³ en een leeggewicht van circa 9 ton. Bij een volledig gevulde tank bedroeg het totaalgewicht van de zodebemester daarmee ongeveer 25 ton. De tank stond op twee banden van 1,05 m breed (type Michelin 1050/50R32XM609 TL Radiaal) op een afstand van 0,95 m van elkaar (binnenzijde band tot binnenzijde band). De bandenspanning bedroeg op beide tijdstippen van uitrijden 2,55 bar.

De zodebemester werd getrokken door een trekker (Deutz Agrostar 6.71) met een gewicht van ongeveer 6,8 ton. De voorbanden (type Goodyear DT820 Radial, 540/65R34) stonden op een afstand van 1,5 m van elkaar en de achterbanden (Goodyear DT820 Radial, 710/70 R38) op een afstand van 1,25 m. De spanning van alle vier banden was 1,5 bar. Op beide tijdstippen van uitrijden werd eerst de drijfmest in de kelder goed gemengd en vervolgens werd de tank helemaal gevuld. Daarna werd de drijfmest in de lengterichting (15 m) van de veldjes uitgereden. Bij het uitrijden was de druk op de mestpomp van de zodebemester 0 bar. Vanwege de afmetingen van de proefveldjes kon de 'hondegang' niet gebruikt worden, en reden de wielen van de tank over de sporen van de trekker. De sporen werden gemarkeerd door in het midden een houten paaltje te slaan.

Analyse drijfmest

Op beide tijdstippen werd de drijfmest bemonsterd, verzonden naar het Blgg te Oosterbeek en geanalyseerd op diverse parameters (Tabel 3). Er waren nauwelijks verschillen in samenstelling.

Tabel 3 Analyseresultaten van drijfmest uitgereden op 10 en 14 maart 2005

Parameter	Eenheid	Waarde	
		10 maart 2005	14 maart 2005
drogestof	g kg ⁻¹ vers product	111	108
ruw as	g kg ⁻¹ vers product	28	27
organische stof	g kg ⁻¹ vers product	84	81
N-totaal	g kg ⁻¹ vers product	3,7	3,7
C-totaal	g kg ⁻¹ vers product	41	42
C/N-verhouding	-	11,1	11,6
N-NH ₃	g kg ⁻¹ vers product	1,7	1,8
P ₂ O ₅	g kg ⁻¹ vers product	1,6	1,5
K ₂ O	g kg ⁻¹ vers product	5,9	6,2
MgO	g kg ⁻¹ vers product	1,1	1,1
Na ₂ O	g kg ⁻¹ vers product	<0,6	<0,6

Bepaling opbrengst en klaveraandeel

Van de veldjes bemest op 14 maart werd op 17 mei, 21 juni, 25 juli, 29 augustus en 4 oktober de drogestofopbrengst en het klaveraandeel in de drogestof bepaald. Van de veldjes bemest op 10 maart werd alleen op 17 mei en 21 juni de opbrengst en het klaveraandeel bepaald. Vanwege het ontbreken van duidelijke effecten van tijdstip van uitrijden op de eerste twee sneden werden de sneden erna niet geoogst.

Bij een opbrengstbepaling werd met een proefveldmaaimachine (J. Haldrup a/s, Løgstør, Denemarken) per veldje over het midden van een gemarkeerd bandenspoor een strook van 1,5 m breed gemaaid (Figuur 3). Aangezien een bandenspoor ongeveer 1,05 m breed was, resteerde aan weerszijden in totaal 0,45 m onbereden gras. Direct naast de gemaaide strook werd aan de linkerzijde een andere strook van 1,5 m breed gemaaid. Deze strook was onbereden, en representeerde de opbrengst van onbereden veldjes. Per strook werd de verse opbrengst gewogen en bemonsterd. Na weging van het monster werden klaver en gras gescheiden in twee submonsters en per submonster gewogen. Vervolgens werden de submonsters gedurende 48 uur gedroogd bij 70 °C, teruggewogen, samengevoegd en tot het moment van analyse opgeslagen in een gelabelde plastic zak.

Figuur 3 Uitmaaien van een spoor met de Haldrup



Analyse gewas

De droge grasmonsters werden verzonden naar het Blgg te Oosterbeek. De monsters van de eerste twee sneden werden natchemisch geanalyseerd op drogestof (105 °C), ruw as, gehalte N-totaal, gehalte suiker en de verteerbaarheid van de organische stof (VC-os, in-vitro). De monsters van latere sneden werden natchemisch geanalyseerd op drogestof en N-totaal.

Fysische en biologische bodemanalyses

Op 18 maart en 9 mei 2005 zijn door het LBI en RIVM monsters genomen voor fysische en biologische bodemanalyses. De bemonstering werd alleen op de veldjes bemest op 14 maart uitgevoerd. De uitgevoerde bepalingen zijn weergegeven in Tabel 4.

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

Parameter	Lagen (cm)	Eenheid
Dichtheid	2,5-7,5	g cm ⁻³ droge grond
	12,5-17,5	g cm ⁻³ droge grond
	22,5-27,5	g cm ⁻³ droge grond
Vochtgehalte	2,5-7,5	% van verse grond
	12,5-17,5	% van verse grond
	22,5-27,5	% van verse grond
Indringingsweerstand	0-10	MPa
	10-20	MPa
	20-30	MPa
	30-40	MPa
	40-50	MPa
Bodemstructuur	0-20	%
Wortels	0-10	# per 400 cm ²
	0-20	# per 400 cm ²
Macroporiën	0-10	# per 400 cm ²
	0-20	# per 400 cm ²
Nematoden	0-10	100 ⁻¹ g veldvochtige grond
Regenwormen	0-20	g m ⁻² veldvochtige grond
Biomassa bacteriën	0-10	µg C g ⁻¹ droge grond
Biomassa schimmels	0-10	µg C g ⁻¹ droge grond
Celvolume bacteriën	0-10	µm ³ per cel
N-totaal	0-10	mg N kg ⁻¹ grond
Anaërobe potentiële N-mineralisatie	0-10	mg N kg ⁻¹ grond
Aërobe potentiële N-mineralisatie	0-10	mg N kg ⁻¹ grond week ⁻¹
BFI klassiek	0-10	mg N kg ⁻¹ grond
BFI TSC©	0-10	mg N kg ⁻¹ grond

De dichtheid is bepaald in RVS ringen van 100 cc met een hoogte van 5 cm. Per veldje en 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) zijn vochtgehalte en dichtheid bepaald. Per veldje werd op 10 plaatsen (zigzagpatroon) de indringingsweerstand gemeten met een penetrologger. De conus had een oppervlak van 1 cm². De bodemstructuur werd per veldje beoordeeld door middel van een visuele score van één graszode van 20*20*20 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 in de zode bepaald. Dezelfde analyses (aantal en leeftijd wormen) werden ook gedaan aan een extra uitgestoken graszode van 20*20*20 cm.

Per veldje werd een mengmonster van laag 0-10 cm gestoken. In een zigzagpatroon over het veldje werden 50-70 steken genomen, samengevoegd, gemengd en gezeefd (<1 cm), en daarna opgedeeld in een aantal submonsters voor de microbiële analyses. Voorafgaand aan de microbiële analyses werden de monsters 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). Deze tellingen werden gedaan met een confocale laser-scan microscoop en automatische beeldverwerking (Bloem et al., 1995). Uit het aantal en het volume van de cellen werd de bacteriële biomassa berekend en uitgedrukt in µg 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 µg 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 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 NH₄ en NO₃ werden via een kleurreactie gemeten met een autoanalyser.

De 'potentiële N mineralisatie' werd gemeten onder gestandaardiseerde, maar min of meer natuurlijke omstandigheden, waarbij voornamelijk aërobe micro-organismen actief zijn. Op deze wijze wordt dus het mineralisatieproces gemeten. Daarnaast werd ook de 'mineraliseerbare stikstof' gemeten door incubatie van een grondmonster 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 anaërobe bacteriën. Bij gebrek aan zuurstof wordt de vrijkomende NH₄ niet omgezet in NO₃, en kan er ook geen verlies door denitrificatie optreden. De hoeveelheid minerale stikstof (NH₄-N) die vrijkomt, is een maat voor de kwaliteit van de organische stof (N -gehalte en afbreekbaarheid) en daarmee voor de biologische bodemvruchtbaarheid. De BFI (Bacterium Fungus Indicator) werd door het Blgg bepaald via de klassieke en de TSC-methode. Daarnaast bepaalde het Blgg ook enkele chemische parameters en het aantal en de soorten nematoden per 100 g veldvochtige grond.

Berekeningen en statistische analyse

Aangezien de maaibreedte (1,5 m) groter was dan de breedte van het bandenspoor (1,05 m), moest een correctie worden toegepast voor de berekening van de gewasopbrengst op het bereden gedeelte. Dit is gedaan volgens de onderstaande relatie:

Opbrengst van het bereden gedeelte: = (opbrengst bereden strook) - ((0,45/1,50)*opbrengst onbereden strook)*(1,50/1,05)

Het effect van berijden op een praktijkperceel kon berekend worden door de opbrengst van een onbereden perceel te corrigeren voor het percentage bandensporen volgens de onderstaande relatie:

Effect berijden op perceelsniveau (=effect bandensporen exclusief kopakkers): (2,1/7,6)*opbrengst bereden gedeelte + (5,5/7,6)*opbrengst onbereden gedeelte

De resultaten (zonder omrekeningen) werden geanalyseerd met een variantieanalyse uit het statistische pakket Genstat 7.1. De analysestructuur was:

- Treatmentstructure = tijdstip uitrijden*bemesten*berijden
- Blockstructure = blok/plot/veldje

Een plot bestond uit twee veldjes, een bereden en onbereden veldje. Deze lagen vanwege de manier van uitrijden altijd naast elkaar. Bij de statistische analyse werden waarnemingen met meer dan drie keer de standaardafwijking van het gemiddelde niet meegenomen in de analyse (kwam niet voor). Significantie van effecten werd getoetst met de F-test ($\alpha=0,05$), en significantie van paarsgewijze verschillen met Student's t-test ($\alpha=0,05$). Op basis van de SED's (Standard Error of Deviation) werden LSD's (Least Significant Difference, kleinste verschil dat nog significant is) berekend. Bij beschrijving van de gewasresultaten zijn de genoemde statistische verschillen de verschillen tussen de originele veldjesopbrengsten (Bijlage 2), en niet die tussen de omgerekende opbrengsten.

3 Resultaten

3.1 Spoorvorming

Op beide tijdstippen werden duidelijk zichtbare sporen in de grasmat gereden (Figuur 4). In de sporen liep de drijfmest eerder over de gleuven dan op het onbereden oppervlak.

Figuur 4 Spoorvorming na uitrijden van drijfmest op 10 maart 2005



3.2 Drogestofopbrengst

Tijdens de groei van de eerste snede was er een significant negatief hoofdeffect van berijden op de drogestofopbrengst ($P=0,002$; $LSD=238$ kg). Als gevolg van berijden daalde de opbrengst, gemiddeld over de andere behandelingen (tijdstip en bemesten), van 4,9 naar 4,4 ton ha^{-1} (Tabel 5). Berijden had geen significante effecten op de drogestofopbrengst van de tweede, derde, vierde en vijfde snede. Bij de eerste snede was er een significant positief hoofdeffect van bemesten ($P<0,001$; $LSD=383$ kg). De opbrengst nam gemiddeld toe van 3,8 tot 5,5 ton ha^{-1} . Bij de vierde snede was er eveneens sprake van een significant positief hoofdeffect van bemesten van de eerste snede ($P=0,027$; $LSD=128$ kg). De gemiddelde opbrengst nam toe van 1,8 tot 1,9 ton ha^{-1} . Bij de tweede en derde snede was er geen significant effect van het bemesten van de eerste snede. De opbrengsten van de proefveldjes zijn per behandeling weergegeven in Bijlage 2; de omgerekende opbrengsten van het onbereden en bereden oppervlak in Tabel 5.

Tabel 5 Effect van tijdstip van uitrijden, berijden en bemesten op de drogestofopbrengst ($kg\ ha^{-1}$) per snede en per jaar, opbrengsten van onbereden of bereden oppervlak

Tijdstip uitrijden	Bemesten	Berijden	Snede					Jaar
			1	2	3	4	5	
10 maart	onbemest	onbereden	4120 ¹⁾	2372	- ²⁾	-	-	-
		bereden	3741	2425	-	-	-	-
	bemest	onbereden	5399	2257	-	-	-	-
		bereden	5050	2277	-	-	-	-
14 maart	onbemest	onbereden	4120	2317	2478	1739	1337	11991
		bereden	3397	2418	2529	1785	1411	11541
	bemest	onbereden	6067	2205	2447	1885	1271	13874
		bereden	5551	2458	2308	1965	1302	13585

¹⁾ alleen bepaald bij uitrijden op 14 maart, zelfde behandeling

²⁾ niet bepaald vanwege ontbreken effect uitrijdtijdstip

3.3 N-gehalte

Berijden had geen significante effecten op het N-gehalte van de eerste snede. In de tweede snede was er een significante interactie tussen het effect van berijden en bemesten ($P=0,019$; $LSD=1,8$ g). Op de onbemeste veldjes had berijden een significant positief effect op het N-gehalte; het N-gehalte nam toe van 25,7 naar 29,0 g kg^{-1} drogestof. In de derde, vierde en vijfde snede waren er geen significante effecten van berijden op het N-gehalte. De gehalten op het onbereden en bereden oppervlak zijn weergegeven in Tabel 6. Het eiwitgehalte van het gras kan berekend worden door het N-gehalte met factor 6,25 te vermenigvuldigen.

Tabel 6 Effect van berijden en bemesten op N-gehalte (g kg^{-1} ds) per snede van het onbereden en bereden oppervlak

Tijdstip uitrijden	Bemesten	Berijden	Snedes				
			1	2	3	4	5
14 maart	onbemest	onbereden	18,1	25,7	31,9	35,4	39,6
		bereden	18,4	29,0	30,0	35,2	38,1
	bemest	onbereden	18,5	27,9	28,7	34,9	39,2
		bereden	18,8	26,7	28,5	33,8	47,8

3.4 N-opbrengst

Berijden had in geen van de sneden een significant effect op de N-opbrengst. Bemesten had in de eerste snede een significant positief hoofdeffect op de opbrengst ($P=0,003$; $LSD=16,7$ kg). In de derde snede was er sprake van een significant negatief hoofdeffect van het bemesten voor de eerste snede ($P=0,017$; $LSD=6,7$ kg). In de tweede, vierde en vijfde snede was er geen sprake van negatieve effecten het bemesten voor de eerste snede op de N-opbrengst. De N-opbrengsten op het onbereden en bereden oppervlak zijn weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7 Effect van berijden en bemesten op N-opbrengst (kg ha^{-1}) per snede van het onbereden en bereden oppervlak

Tijdstip uitrijden	Bemesten	Berijden	Snedes					Jaar
			1	2	3	4	5	
14 maart	onbemest	onbereden	74,7	59,5	79,1	61,6	53,0	328
		bereden	62,7	70,1	76,1	62,7	55,0	327
	bemest	onbereden	112,2	61,5	70,2	65,6	49,9	359
		bereden	105,1	66,1	65,6	66,3	60,3	363

3.5 Klaveraandeel in drogestof

Berijden had in geen enkele snede significante effecten op het klaveraandeel in de graszode. Bemesten wel; in de eerste snede was er een significant negatief hoofdeffect ($P<0,001$; $LSD=1,6\%$): het klaveraandeel daalde als gevolg van bemesten van gemiddeld 9 naar gemiddeld 4%. In de tweede snede was er een significante interactie tussen het effect van berijden en bemesten op het klaveraandeel ($P=0,043$; $LSD=6,2\%$): op de bereden veldjes nam het klaveraandeel als gevolg van bemesten vóór de eerste snede gemiddeld af van 34 naar 23%. In de derde snede was er een aanwijzing voor een negatief hoofdeffect van bemesten op het klaveraandeel ($P=0,051$; $LSD=10,0\%$); op de onbemeste veldjes was het klaveraandeel gemiddeld 49% en op de bemeste veldjes gemiddeld 39%. In de vierde en vijfde snede waren er geen significante effecten van behandelingen op het klaveraandeel. Het klaveraandeel van het onbereden en bereden oppervlak is weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8 Effect van tijdstip van uitrijden, berijden en bemesten op klaveraandeel (% van ds) van het onbereden en bereden oppervlak

Tijdstip uitrijden	Bemesten	Berijden	Snedes				
			1	2	3	4	5
10 maart	onbemest	onbereden	8,4	30,4	-	-	-
		bereden	11,4	35,0	-	-	-
	bemest	onbereden	3,6	26,3	-	-	-
		bereden	3,3	19,3	-	-	-
14 maart	onbemest	onbereden	8,4	30,5	49,7	36,8	39,2
		bereden	8,0	37,1	47,6	35,4	42,6
	bemest	onbereden	4,3	29,1	40,9	33,1	40,5
		bereden	3,4	23,5	35,6	33,1	39,2

3.6 Voederwaarde overig

Suiker

In de eerste snede waren er geen significante effecten van berijden op het suikergehalte in de drogestof. De gehalten in deze snede waren zeer hoog, variërend van 219 tot 258 g kg⁻¹ drogestof (Tabel 9). In de tweede snede was er een significante interactie tussen het effect van berijden en bemesten op het suikergehalte ($P=0,026$; $LSD=28,4$). Op de onbemeste veldjes nam het gehalte af van 119 naar 80 g kg⁻¹.

Tabel 9 Effect van berijden en bemesten op gehalte suiker (g kg⁻¹ ds) per snede van het onbereden en bereden oppervlak

Tijdstip uitrijden	Bemesten	Berijden	Snedes	
			1	2
14 maart	onbemest	onbereden	258	119
		bereden	250	80
	bemest	onbereden	219	108
		bereden	229	116

In-vitro verteerbaarheid o.s.

In de eerste snede en tweede snede waren er geen significante effecten van berijden op de in-vitro verteerbaarheid van de organische stof. De VC-os van het gras op het onbereden of bereden oppervlak is weergegeven in Tabel 10.

Tabel 10 Effect van berijden en bemesten op VC-os (% van os) per snede van het onbereden en bereden oppervlak

Tijdstip uitrijden	Bemesten	Berijden	Snedes	
			1	2
14 maart	onbemest	onbereden	81,0	79,1
		bereden	80,3	80,7
	bemest	onbereden	79,0	80,3
		bereden	78,4	80,2

3.7 Fysische- en biologische bodemkwaliteit

Dichtheid en vochtgehalte

Op basis van het gehalte organische stof was de berekende dichtheid in laag 0-10 cm 1,26 g cm³. De gemeten waarden in laag 2,5-7,5 cm wijken hier weinig van af (Tabel 11). Dichtheid en vochtgehalte verschilden niet significant tussen het onbereden en bereden oppervlak.

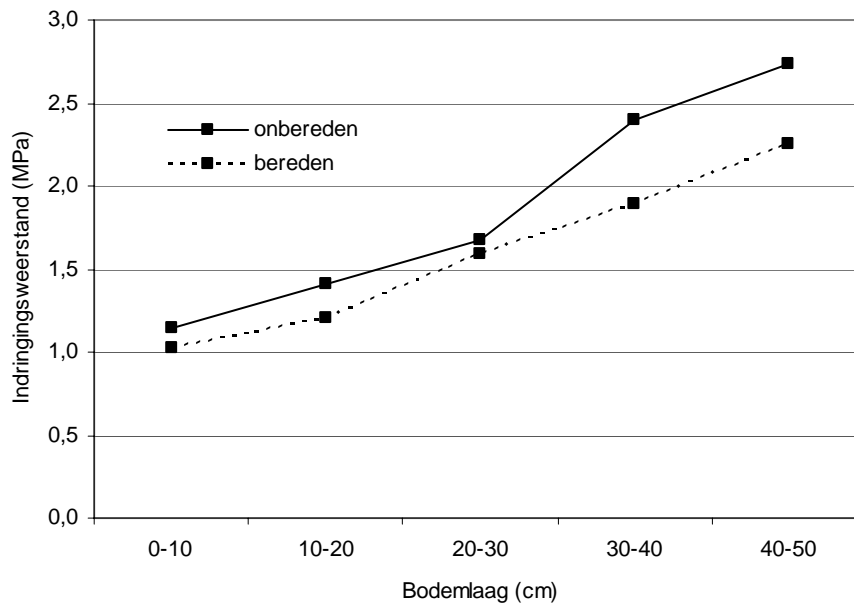
Tabel 11 Effect van berijden op dichtheid (g cm³) en vochtgehalte (%) van drie bodemlagen

	18 maart		9 mei	
Dichtheid	Onbereden	Bereden	Onbereden	Bereden
laag 2,5-7,5 cm	1,28	1,31	1,28	1,27
laag 12,5-17,5 cm	1,28	1,27	1,28	1,28
laag 22,5-27,5 cm	1,43	1,46	1,33	1,38
Vochtgehalte				
laag 2,5-7,5 cm	25,2	24,4	25,6	25,8
laag 12,5-17,5 cm	23,4	24,1	24,2	23,5
laag 22,5-27,5 cm	20,3	19,8	23,2	21,2

Indringingsweerstand

De indringingsweerstand was op 18 maart op het bereden oppervlak steeds lager dan op het onbereden oppervlak en nam toe bij toenemende diepte (Figuur 5). Het verschil was significant in bodemlaag 0-10 cm (P=0,005; LSD=0,06), 10-20 cm (P<0,001; LSD=0,06) en 40-50 cm (P=0,04; LSD=0,44). In laag 30-40 cm was er een aanwijzing voor een verschil (P=0,06; LSD=0,55).

Figuur 5 Verloop indringingsweerstand (MPa) bij het onbereden en bereden oppervlak op 18 maart



Structuur

Er waren geen significante verschillen in visuele score van de bodemstructuur in laag 0-10 cm tussen het onbereden en bereden oppervlak (Tabel 12). Er was alleen een aanwijzing voor hoger percentage kruimels in laag 0-10 cm onder het bereden oppervlak bij meting op 9 mei (P=0,068; LSD=11).

Tabel 12 Effect van berijden op de visuele score (% van totaal) van de bodemstructuur in laag 0-10 cm

	18 maart		9 mei	
	Onbereden	Bereden	Onbereden	Bereden
Kruimels	57	57	56	65
Afgeronde elementen	11	9	14	11
Scherpblokkige elementen	32	33	30	24

Wortels en macroporiën

Het aantal wortels en macroporiën was niet significant verschillend tussen het onbereden en bereden oppervlak (Tabel 13). Bij meting op 9 mei was er een aanwijzing voor een afname van het aantal macroporiën als gevolg van berijden ($P=0,10$; $LSD=1,04$).

Tabel 13 Effect berijden op aantal wortels en macroporiën (per 400 cm²) op verschillende dieptes

	18 maart		9 mei	
	Onbereden	Bereden	Onbereden	Bereden
# Wortels				
op 10 cm diepte	153	139	199	187
op 20 cm diepte	45	31	86	74
# Macroporiën				
op 10 cm diepte	3,20	2,20	2,60	3,00
op 20 cm diepte	1,00	0,40	1,60	0,80

Nematoden

Het totale aantal vrijlevende nematoden was laag voor grasland (Tabel 14), de normale range is tussen de 4000 en 7000 per 100 g grond. In de voedselgroepen was het percentage bacterie-etters relatief hoog en het percentage planteters laag. Mogelijk was het aantal plantetende nematoden laag als gevolg van een oude grasmat met een slecht ontwikkeld wortelstelsel. In de onderscheiding op basis van overlevingsstrategieën domineert de cp2-groep, gevolgd door de cp1-groep. De cp2-groep omvat veel soorten die zich hebben aangepast aan het overleven in moeilijke omstandigheden. De cp1-groep is de zogenaamde vermestingindicator en omvat soorten die snel vermeerderen onder gunstige omstandigheden, waaronder bemesting met organische mest (Van Eekeren et al., 2003). De gevonden waarden suggereren een matig voedselrijke maar geen overbemeste situatie. Wat betreft de nematodenparameters waren er op 9 mei (2 maanden na de verdichting) geen significante verschillen tussen het onbereden en bereden oppervlak. Wel was er een aanwijzing voor een hoger percentage nematoden binnen de cp4-groep onder het bereden oppervlak ($P=0,064$; $LSD=3$).

Tabel 14 Effect van berijden op vrijlevende nematoden

Tijdstip bemonsteren	18 maart		9 mei	
Berijden	Onbereden	Bereden	Onbereden	Bereden
Nematoden per 100 g grond	-	-	2239	2493
Voedselgroepen (%)				
Plantetende nematoden	-	-	40	35
Bacterie-etende nematoden	-	-	46	47
Dauerlarven	-	-	3	4
Schimmelsetende nematoden	-	-	3	4
Roofnematoden	-	-	5	5
Allesetende nematoden	-	-	3	5
Overlevingsstrategieën (%)				
Cp1	-	-	22	24
Cp2	-	-	61	58
Cp3	-	-	3	2
Cp4	-	-	5	8
Cp5	-	-	9	7
MI (1-5)	-	-	2,2	2,2
MI (2-5)	-	-	2,5	2,5

Regenwormen

Het aantal wormen (Tabel 15) was normaal voor blijvend grasland. Omgerekend lag de wormbiomassa in de laag 0-20 cm tussen de 780 en 1310 kg per hectare. Onder grasland op zandgrond worden meestal waarden gemeten tussen de 400 en 1500 kg per hectare (Van Eekeren et al., 2003). Op 18 maart, vier dagen na berijden, waren er nog geen verschillen in wormparameters tussen het onbereden en bereden oppervlak. Tussen 18 maart en 9 mei was er een significante stijging van het aantal juveniele en het totale aantal wormen ($P < 0,001$). Hoewel de aantallen wormen op 9 mei niet significant verschilden tussen beide behandelingen, was er een aanwijzing voor een lagere wormbiomassa onder het bereden oppervlak ($P = 0,09$; $LSD = 66$).

Tabel 15 Effect van berijden op biomassa (g m^{-2}), aantallen ($\# \text{ m}^{-2}$) en ontwikkelingsstadië van regenwormen

	18 maart		9 mei	
	Onbereden	Bereden	Onbereden	Bereden
Biomassa wormen	84	90	131	78
Aantal wormen	151	160	380	269
Adult	48	65	98	68
Juvenile	78	60	228	158
Rest	26	35	55	44

Microbiologie

De gemiddelde bacteriële biomassa op het proefveld (Tabel 16) was normaal voor grasland. De schimmelbiomassa was echter aan de lage kant. Er waren geen significante verschillen in bacteriële biomassa of schimmelbiomassa tussen het onbereden en bereden oppervlak. Het enige significante effect was een hoger celvolume van de bacteriën onder het bereden oppervlak ($P = 0,035$; $LSD = 0,08$). Dit kan wijzen op een lagere predatiedruk door protozoën en nematoden, die veroorzaakt kan zijn door lagere aantallen predatoren of kleinere poriën, die de bacteriën beschermen tegen predatie.

Tabel 16 Effect van berijden op biomassa van bacteriën en schimmels en het celvolume van de bacteriën

	18 maart		9 mei	
	Onbereden	Bereden	Onbereden	Bereden
Bacteriële biomassa ($\mu\text{g C g}^{-1}$ grond)	-	-	84,8	96,5
Schimmelbiomassa ($\mu\text{g C g}^{-1}$ grond)	-	-	17,3	17,3
Celvolume bacteriën (μm^3 per cel)	-	-	0,40	0,50

Indicatoren N-mineralisatie

Bij verschillende indicatoren van het N-mineralisatieproces waren er geen significante verschillen tussen het onbereden en bereden oppervlak (Tabel 17).

Tabel 17 Effect van berijden op een aantal indicatoren van de potentiële N-mineralisatie

Tijdstip bemonsteren	18 maart		9 mei	
	Onbereden	Bereden	Onbereden	Bereden
N-totaal (mg N kg^{-1})	-	-	2602	2583
Pot. N-mineralisatie aëroob ($\text{mg N kg}^{-1} \text{ week}^{-1}$)	-	-	-1,30	0,17
BFI via TSC methode (mg N kg^{-1})	-	-	36,7	38,1
BFI via klassieke methode (mg N kg^{-1})	-	-	32,0	33,0
Pot. N-mineralisatie anaëroob (mg N kg^{-1})	-	-	148	119

4 Discussie

Berijden had alleen in de eerste snede een (negatief) effect op de drogestofopbrengst; in de overige vier sneden niet. Dit kan er op wijzen dat de opbrengstdaling niet het gevolg was van bodemverdichting, maar eerder van schade aan de graszode. Het feit dat de N-opbrengst van de eerste snede in tegenstelling tot de drogestofopbrengst niet beïnvloedt werd door berijding, wijst ook in die richting. Een andere mogelijke verklaring voor het geringe effect van berijden kan zijn dat de bodem al aanzienlijk verdicht was. Echter, er werd ook van de onbemeste veldjes een relatief zware snede ($> 4 \text{ ton ha}^{-1}$) van hoge kwaliteit (suiker $> 200 \text{ g kg}^{-1}$ ds; VC-os 79-81%) gehaald. Deze resultaten geven weinig reden om te veronderstellen dat de bodem al sterk verdicht was. Effecten van het berijden van grond op de grasopbrengst en voederwaarde zijn sterk afhankelijk van het evenwicht tussen bodemdruk (uitgeoefend door de machine) en bodemconditie (afhankelijk van vochtgehalte). Hoewel de bodem redelijk nat was, zeker op 14 maart, en er zichtbaar sporen gereden werden, bleef het gemiddelde effect van berijden op de opbrengst (onbereden versus bereden oppervlak) beperkt tot een opbrengstdaling van 10% in de eerste snede. De conclusie is dan ook dat deze opbrengstdaling waarschijnlijk is veroorzaakt door beschadiging van de graszode, en dat de gebruikte bemestingscombinatie niet te zwaar was voor de conditie van de bodem op het moment van uitrijden.

Frost (1988) vond in Noord-Ierland hetzelfde effect. Éénmalig berijden van grasland op klei door een combinatie van trekker en bemestingstank (totaalgewicht 11 ton) in het vroege voorjaar had een opbrengstdaling van de eerste snede van 13% tot gevolg. Bij drie keer berijden (spoor over spoor) nam de opbrengstdaling toe tot 33%. Er waren echter geen negatieve effecten in de twee volgende sneden merkbaar. Snijders et al. (1994) vonden in hun onderzoek op droge zandgrond in Noord-Brabant in 1989 een sterk negatief effect van bodembelasting op de opbrengst van de eerste snede, en vervolgens een positief effect op de opbrengst van latere sneden, behalve bij afwezigheid van N-bemesting. In de jaren 1990, 1991 en 1992 was er echter een positief effect op de opbrengst van alle sneden, bij N0 vooral in de derde en vierde snede. Een belangrijke kanttekening bij het onderzoek van Snijders et al. (1994) is dat de veldjes slechts éénmaal per jaar belast werden, na de oogst van de laatste snede. Verder werd de belasting egaal met een rol aangebracht. Het is de vraag in hoeverre deze wijze en frequentie van belasten representatief is voor het berijden van grond door landbouwmachines. Arts et al. (1994) belastten de objecten in hun onderzoek met dezelfde rol, maar dan na de oogst van iedere snede. Uit de resultaten van Arts et al. (1994) kan geconcludeerd worden dat de jaaropbrengst bij matige belasting (4,5 ton) toenam vergeleken met niet belasten (0 ton) en zwaar belasten (8,5 en 14,5 ton). De maximaal gemeten afname van de jaaropbrengst, gemiddeld over vijf jaar, was van $12,0 \text{ ton drogestof ha}^{-1}$ (bij $4,5 \text{ ton belasting}$) naar $10,6 \text{ ton drogestof ha}^{-1}$ (bij $14,5 \text{ ton belasting}$) bij een N-bemesting van gemiddeld 285 kg ha^{-1} . Het onderzoek werd uitgevoerd op een zandgrond in de Wieringermeer.

Berijden had geen effecten op het eiwitgehalte, suikergehalte en de VC-os van het gras. Alleen bij de tweede snede had op de onbemeste veldjes berijden een (positief) effect op het eiwitgehalte. Arts et al. (1994) vonden een lichte toename van de VEM en een afname van het eiwitgehalte bij toename van de bodembelasting.

De hogere stikstofvoorziening van de drijfmestobjecten had geen significant effect op het effect van berijding op de drogestofopbrengst. Deze conclusie is in overeenstemming met de resultaten van Arts et al. (1994), die ook geen compenserende effecten van stikstofgift op het negatieve effect van berijden vonden. Snijders et al. (1994) vonden alleen in de eerste snede in 1989 een compenserend effect van de N-gift op de opbrengstdaling door berijding.

Het effect van berijden op de opbrengst op perceelsniveau kan berekend worden door het percentage bandenoppervlak per werkgang te berekenen. Dit bedroeg 28% (Figuur 1). De opbrengst van de eerste snede nam daarmee door berijding op perceelsniveau af van $4,9$ naar $(0,72 * 4,9 + 0,28 * 4,4) = 4,8 \text{ ton ha}^{-1}$, een daling van ongeveer 2%. Als voor de kopakkers, waarover meerdere keren gereden wordt, gerekend wordt met 10% extra bereden oppervlak, dan was de daling in drogestofopbrengst ongeveer 4% op perceelsniveau geweest.

Bemesten had tot en met de derde snede een negatief effect op het klaveraandeel. Dit effect kan veroorzaakt zijn door een combinatie van het effect van stikstofgift en het effect van snijden (=beschadigen) van de zode. Een mogelijk negatief effect van het lagere klaveraandeel op de drogestof- en N-opbrengst is in de eerste snede niet te waar te nemen, waarschijnlijk omdat (1) het klaveraandeel laag was en (2) de N uit de mest een meer dan compenserend effect had. In de tweede snede is de drogestof- en N-opbrengst van de onbemeste en bemeste veldjes gelijk, terwijl als gevolg van nawerking een hogere opbrengst op de bemeste veldjes verwacht zou mogen worden. In de derde snede is er sprake van een negatief effect van bemesting van de eerste snede op de N-opbrengst. Blijkbaar wordt hier het effect van het lagere klavergehalte op de bemeste veldjes zichtbaar.

Eénmalig berijden had weinig effect op de fysische bodemparameters in dit onderzoek. Opvallend is dat de indringingsweerstand onder het bereiden oppervlak lager was dan onder het onbereiden oppervlak, terwijl eerder het omgekeerde verwacht zou worden. Voor dit effect is geen goede verklaring gevonden. De gemeten dichtheid en weerstand suggereren niet dat deze grond al sterk verdicht was bij aanvang van het onderzoek. De dichtheden in de laag 12,5-17,5 cm lagen rond de 1,28 MPa met een indringingsweerstand van 1,31 MPa. In het onderzoek van Arts et al. (1994) op zandgrond in de Wieringermeer correspondeerden deze cijfers ruwweg met de stabiele eindwaarde van de bodemconditie die ontstond bij een meerjarige belasting van 4,5 ton, de behandeling die in de betreffende proef de maximale drogestofopbrengst had. De op het oog zichtbare spoorvorming (Figuur 4) bij het uitrijden van de mest bleek alleen uit een significante weerstandsverhoging in de laag 10-20 cm (Figuur 5).

Schade aan bodemleven kan ontstaan door directe mechanische beschadiging maar ook indirect door verandering van de fysische bodemcondities en daarmee een verslechtering van de leefomstandigheden. Eénmalig berijden had in deze proef weinig of geen effect op de microbiologische parameters en de nematodensamenstelling. Bouman en Arts (2000) vonden in de berijdingsproef in de Wieringermeer ook geen verandering van het aantal nematoden, maar wel een verschuiving in voedselgroepen. Bij zwaardere belasting nam het percentage plantenetende nematoden toe, ten koste van het percentage bacterie- en schimmeletende nematoden. Verklaringen die hiervoor worden gegeven zijn: 1) hogere directe mortaliteit van bacterie- en schimmeletende nematoden door grotere kwetsbaarheid voor zwaardere belasting, 2) toename van het aantal wortels in de bovenste bodemlaag in de behandeling met de zwaardere belasting, en daardoor meer voedsel voor plantenetende nematoden en 3) een verkleining van de poriën waardoor specifieke kleinere (plantenetende) nematoden wel overleven en grotere (bacterie- en schimmeletende) nematoden niet.

Twee maanden na het berijden leek de biomassa van de regenwormen afgenomen te zijn. Aritajat et al. (1977) vonden tien maanden na éénmalig berijden met tractorbanden geen significant effect op het aantal wormen. Bij tienmaal berijden in hetzelfde spoor nam het aantal wormen echter significant af. De combinatie van bovenstaande resultaten suggereert dat éénmalig berijden geen groot effect heeft op bodemleven maar dat frequent berijden van hetzelfde spoor wel tot schade kan leiden.

5 Conclusies

- Insporing van een natte zandgrond in het voorjaar had alleen in de eerste snede een negatief effect op de drogestofopbrengst
- De drogestofopbrengst daalde van 4,9 ton ha⁻¹ op het onbereden oppervlak naar 4,4 ton ha⁻¹ in de sporen
- Onder praktijkomstandigheden was de drogestofopbrengst op perceelsniveau met ongeveer 4% gedaald
- De opbrengstdaling werd waarschijnlijk veroorzaakt door schade aan de graszode; er waren geen indicaties dat de daling door bodemverdichting veroorzaakt werd
- Berijden had geen significant effect op bodemdichtheid, vochtgehalte, bodemstructuur (visueel), aantal wortels, aantal macroporiën, biomassa bacteriën, biomassa schimmels, aantal en soorten nematoden, aantal en ontwikkelingsstadia van wormen en N-mineralisatieparameters
- De indringingsweerstand in de laag 0-60 cm was steeds lager in de sporen; alleen in de lagen 20-30 en 30-40 cm ($P=0,06$) was dit verschil niet significant.
- Door berijden nam het celvolume van de bacteriën toe, wat kan wijzen op minder predatie door protozoën en nematoden
- Twee maanden na berijden leek de biomassa van de regenwormen onder de sporen afgenomen te zijn ($P=0,09$) ten opzichte van het onbereden oppervlak
- Insporing in het voorjaar had in vijf volgsneden geen effect op het aandeel klaver in de zode en geen effect op eiwitgehalte, suikergehalte en VC-os van de eerste twee sneden
- Bemesten had echter tot en met de derde snede een negatief effect op het klaveraandeel
- In de eerste snede was er geen negatief effect van het lagere klavergehalte op de opbrengst, waarschijnlijk omdat (1) het klavergehalte laag was en (2) de N uit de mest een meer dan compenserend effect had
- In de tweede en derde snede was er een negatief effect van bemesten op de eiwitopbrengst en in de tweede snede ook op de drogestofopbrengst
- Ondanks de negatieve effecten van spoorvorming bij bemesting, en van het bemesten zelf, was de jaaropbrengst met bemesting duidelijk hoger dan zonder bemesting
- In dit onderzoek was het dus zinvol om de eerste snede te bemesten

Bijlagen

Bijlage 1 Proefveldschema

		achterkant	
	5,0	10,0	
7,6		onbemest, 2e tijdstip	20
		bemest, 2e tijdstip	19
		onbemest, 1e tijdstip	18
		bemest, 1e tijdstip	17
		bemest, 2e tijdstip	16
		bemest, 1e tijdstip	15
		onbemest, 2e tijdstip	14
		onbemest, 1e tijdstip	13
		onbemest, 2e tijdstip	12
		onbemest, 1e tijdstip	11
160		bemest, 2e tijdstip	10
		bemest, 1e tijdstip	9
		onbemest, 1e tijdstip	8
		onbemest, 2e tijdstip	7
		bemest, 1e tijdstip	6
		bemest, 2e tijdstip	5
		bemest, 2e tijdstip	4
		onbemest, 2e tijdstip	3
		onbemest, 1e tijdstip	2
		vervallen	
		bemest 1e tijdstip	1
		voorkant	

Bijlage 2 Opbrengst en voederwaarde proefveldjes**Tabel 18** Effect van tijdstip van uitrijden, berijden en bemesten op drogestofopbrengst (kg ha⁻¹) per snede en per jaar, opbrengsten van proefveldjes

Tijdstip uitrijden	Bemesten	Berijden	Snede					Jaar
			1	2	3	4	5	
10 maart	onbemest	onbereden	4120 ¹⁾	2372	- ²⁾	-	-	-
		bereden	3855	2409	-	-	-	-
	bemest	onbereden	5399	2257	-	-	-	-
		bereden	5155	2271	-	-	-	-
14 maart	onbemest	onbereden	4120	2317	2478	1739	1337	11991
		bereden	3614	2388	2514	1771	1389	11676
	bemest	onbereden	6067	2205	2447	1885	1271	13874
		bereden	5706	2382	2350	1941	1293	13672

¹⁾ alleen bepaald bij uitrijden op 14 maart, zelfde behandeling²⁾ niet bepaald vanwege ontbreken effect uitrijdtijdstip**Tabel 19** Effect van berijden en bemesten op N-gehalte (g kg⁻¹ ds) per snede van de proefveldjes

Tijdstip uitrijden	Bemesten	Berijden	Snede				
			1	2	3	4	5
14 maart	onbemest	onbereden	18,1	25,7	31,9	35,4	39,6
		bereden	18,3	28,0	30,6	35,3	38,6
	bemest	onbereden	18,5	27,9	28,7	34,9	39,2
		bereden	18,7	27,0	28,6	34,1	45,2

Tabel 20 Effect van berijden en bemesten op N-opbrengst (kg ha⁻¹) per snede van de proefveldjes

Tijdstip uitrijden	Bemesten	Berijden	Snede					Jaar
			1	2	3	4	5	
14 maart	onbemest	onbereden	74,7	59,5	79,1	61,6	53,0	328
		bereden	66,3	66,9	77,0	62,4	54,4	327
	bemest	onbereden	112,2	61,5	70,2	65,6	49,9	359
		bereden	107,2	64,7	67,0	66,1	57,2	362

Tabel 21 Effect van tijdstip van uitrijden, berijden en bemesten op klaveraandeel (% van ds) per snede van de proefveldjes

Tijdstip uitrijden	Bemesten	Berijden	Snede				
			1	2	3	4	5
10 maart	onbemest	onbereden	8,4	30,4	-	-	-
		bereden	10,5	33,6	-	-	-
	bemest	onbereden	3,6	26,3	-	-	-
		bereden	3,4	21,4	-	-	-
14 maart	onbemest	onbereden	8,4	30,5	49,7	36,8	39,2
		bereden	8,1	35,1	48,2	35,8	41,6
	bemest	onbereden	4,3	29,1	40,9	33,1	40,5
		bereden	3,7	25,2	37,2	33,1	39,6

Tabel 22 Effect van berijden en bemesten op gehalte suiker (g kg^{-1} ds) per snede van de proefveldjes

Tijdstip uitrijden	Bemesten	Berijden	Snedes	
			1	2
14 maart	onbemest	onbereden	258	119
		bereden	253	92
	bemest	onbereden	219	108
		bereden	226	113

Tabel 23 Effect van berijden en bemesten op VC-os (% van os) per snede van de proefveldjes

Tijdstip uitrijden	Bemesten	Berijden	Snedes	
			1	2
14 maart	onbemest	onbereden	81,0	79,1
		bereden	80,5	80,2
	bemest	onbereden	79,0	80,3
		bereden	78,6	80,2

Literatuur

Artitajat U., Madge D.S. and Gooderham P.T. 1977. The effects of compaction of agricultural soils on soil fauna. I. Field investigations. *Pedobiologica*, Bd. 17: 262-282.

Arts W.B.M., Verwijs B.R. en van Maanen J. 1994. De invloed van berijding op de fysische bodemconditie van zandgrond en de gevolgen daarvan voor de grasproductie. Rapport 94-5, IMAG-DLO, Wageningen: 72 pp.

Bloem, J., G. Lebbink, K.B. Zwart, L.A. Bouwman, S.L.G.E. Burgers, J.A. de Vos and P.C. de Ruiter. 1994. Dynamics of micro organisms, microbivores and nitrogen mineralisation in winter wheat fields under conventional and integrated management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 51, 129-143.

Bloem, J., M. Veninga, J. Shepherd (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., and A. Vos. 2004. Fluorescent staining of microbes for total direct counts. In "Molecular Microbial Ecology Manual", 2nd edition, (Kowalchuk, G.A., De Bruijn, F.J., Head, I.M., Akkermans, A.D.L. and Van Elsas, J.D., editors), pp. 861-874. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Bloem, J., A.J. Schouten, S.J. Sørensen, M. Rutgers, A. van der Werf and A.M. Breure 2006. Monitoring and evaluating soil quality. In "Microbiological Methods for Assessing Soil Quality" (J. Bloem, A. Benedetti and D.W. Hopkins, editors), pp. 23-49. CABI, Wallingford, UK.

Bouwman L.A. and Arts W.B.M. 2000. Effects of soil compaction on the relationships between nematodes, grass production and soil physical properties. *Applied Soil Ecology* 14: 213-222.

Canali, S., and A. Benedetti. 2006. Soil nitrogen mineralization. In "Microbiological Methods for Assessing Soil Quality" (J. Bloem, A. Benedetti and D.W. Hopkins, editors), pp. 127-135. CABI, Wallingford, UK.

Eekeren van N., Heeres E. en Smeding F. 2003. Leven onder de graszode. Discussiestuk over het beoordelen en beïnvloeden van bodemleven in de biologische veehouderij. Louis Bolk Instituut, Driebergen: 149 pp.

Frost J.P. 1988. Effects on crop yields of machinery traffic and soil loosening. Part 1. Effects on grass yield of traffic frequency and date of loosening. *Journal of Agricultural Engineering Research* 39: 301-312.

Keeney, D.R., and D.W. Nelson. (1982). Nitrogen - Inorganic forms. In "Methods of soil Analysis", Part 2. (Black C.A., Evans D.D., White J.L. Ensminger L.E., Clark F.E., editors). Madison WI: Am Soc Agron, pp.682-687.

Schröder J., Eekeren van N. en Oosterhof D. 2006. De stikstofstromen bij Oosterhof nader bekeken. Bioveem rapport nr. 13.

Snijders P.J.M., Wopereis F.A., Everts H. en Wouters A.P. 1994. Effect bodemverdichting op opbrengst en stikstofopname Engels raaigras op zandgrond. Rapport nr. 152, Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, Lelystad: 51 pp.