

WOLFFHIEK
STARBEGROUW

De invloed van berijding op de fysische bodemconditie van zandgrond en de gevolgen daarvan voor de grasproduktie

*The effect of traffic on the physical condition
of a sandy soil and subsequent consequences
for grass production*

Ing. W.B.M. Arts
B.R. Verwijs
J. van Maanen

imag-dlo



rapport 94-5
maart 1994
prijs f 35,00



22 AUG. 1994

151 175806*

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Arts, W.B.M., Ing.

De invloed van berijding op de fysische bodemconditie van zandgrond en de gevolgen daarvan voor de grasproduktie = The effect of traffic on the physical condition of a sandy soil and subsequent consequences for grass production / W.B.M. Arts, B.R. Verwijs, J. van Maanen. – Wageningen : IMAG-DLO. – Ill. (Rapport / Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Instituut voor Milieu- en Agritechniek ; 94-5)

Met lit. opg. – Met samenvatting in het Engels.

ISBN 90-5406-075-1

NUGI 849

Trefw.: bodemkunde / grasland.

© 1994

IMAG-DLO

Postbus 43 – 6700 AA Wageningen

Telefoon 08370-76300

Telefax 08370-25670

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enig andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

Abstract

Arts, W.B.M., B.R. Verwijs and J. van Maanen, 1994. The effect of traffic on the physical condition of a sandy soil and subsequent consequences for grass production. IMAG-DLO, Wageningen, rapport 94-5, 69 pp, 32 figs, 8 tables, 9 appendices, 42 refs, (in Dutch with English summary).

The effects of traffic load on soil condition, grass yield and grass quality were investigated from 1988 to 1992. Loads of 0, 4.5, 8.5, and 14.5 t on a 2 m wide, 1.2 m diameter roller, were applied on an initially loose sandy soil after every cut of grass. Soil condition stabilized after the first year's loading. Maximum bulk densities obtained in the 15-20 cm and 30-35 cm layers were 1.16 g cm^{-3} for the 0 t loading and 1.41 g cm^{-3} for the 14.5 t loading. The corresponding cone index was 0.6 MPa for the 0 t loading and 4.2 MPa for the 14.5 t loading. The effect of the loadings on grass dry matter yield was statistically significant ($p < 0.05$). The best yield was obtained for the 4.5 t load. At a nitrogen fertilization rate of $285 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ the dry matter yield from the plot subjected to the 14.5 t load was 12 % less than that from the 4.5 t plot. The application of different rates of nitrogen did not statistically significantly influence the effects of loading on yield.

Keywords: traffic, soil, compaction, grass, nitrogen.

Voorwoord

Door het IMAG-DLO is de afgelopen jaren onderzoek verricht naar berijding van grasland. Met de beschreven aanpak wordt de basis gelegd voor het instandhouden van de bodemvruchtbaarheid door beperking van de verdichting.

Door dit onderzoek is kwantitatieve informatie verkregen over het verband tussen een bepaalde bodembelasting, de bodemconditie en de grasproductie op zandgrond. De samenhang van de informatie schept mogelijkheden om de berijding van grasland te optimaliseren met als doelstellingen: een hoge drogestofopbrengst, een prima kwaliteit van het gras en de instandhouding van een goede bodemconditie binnen een ecosysteem. Op deze wijze kan een maximale financiële opbrengst in bedrijfsverband worden verkregen.

De resultaten van het onderzoek zijn van belang voor op duurzaamheid gerichte teeltsystemen. Er is zowel aandacht besteed aan de productie van gras als aan de specifieke aspecten van het groeimilieu.

Bedrijfsleiding en medewerkers van het IMAG-DLO proefbedrijf Oostwaardhoeve hebben een belangrijke bijdrage aan dit onderzoek geleverd. Daarnaast is steun ervaren vanuit de werkgroep 'Bodemverdichting Grasland', waarin vertegenwoordigd waren: AB-DLO, IKC-RSP, LUW (vakgroep Grondbewerking), PR, Regionaal Onderzoek Centrum Cranendonck, SC-DLO en IMAG-DLO.

Ir. A.A. Jongebreur
directeur

Inhoud

Samenvatting	8
1 Inleiding	11
1.1 Algemene achtergrondinformatie	11
1.2 Probleem	12
1.3 Analyse van het probleem	12
1.3.1 Bodemconditie en drogestofopbrengst	13
1.3.2 Berijding, bandspanning en insporing	14
1.3.3 Andere bodembelastende processen	15
1.4 Doelstellingen van het onderzoek	15
1.5 Afbakening van het onderzoek	16
2 Methoden en materialen	17
2.1 Proefopzet	17
2.2 Proefuitvoering	19
2.3 Meetmethoden	20
2.3.1 Bodemconditie	20
2.3.2 Grasproduktie	21
2.3.3 Kritieke bandspanning	21
3 Resultaten en discussie	22
3.1 Bodemconditie	22
3.1.1 Dichtheid	22
3.1.2 Vochtgehalte en waterretentie	24
3.1.3 Indringweerstand	30
3.1.4 Pakketdikte	35
3.1.5 Interacties	37
3.2 Grasproduktie	37
3.2.1 Samenstelling	37
3.2.2 Opbrengst	40
3.3 Kritieke bandspanning	44
4 Aanvullend onderzoek	45
4.1 Bodemmechanisch gedrag	45
4.2 Rolweerstand	46
4.3 Beworteling	47
4.4 Botanische samenstelling	48
4.5 N-mineraal 1991	48
4.6 Stikstofefficiëntie en stikstofterugwinning	50
5 Conclusies	52
5.1 Relatie berijding, bodemconditie en grasproduktie	52
5.2 Steun/verwerping hypothesen	52

6 Aanbevelingen	55
Summary	56
Literatuur	58
Bijlage A: Kunstmestgift gedurende de proefjaren	61
Bijlage B: Cumulatief neerslagtekort op de proeflocatie gedurende de proefjaren (in het groeiseizoen)	62
Bijlage C: Energiewaarde van het gras afhankelijk van bodembelasting en stikstofgift	63
Bijlage D: Ruw eiwit in de drogestof afhankelijk van bodembelasting en stikstofgift	64
Bijlage E: Ruw as in de drogestof afhankelijk van bodembelasting en stikstofgift	65
Bijlage F: Energieopbrengst (kVEM) afhankelijk van bodembelasting en stikstofgift	66
Bijlage G: Opbrengst ruw eiwit afhankelijk van bodembelasting en stikstofgift	67
Bijlage H: Botanische samenstelling van de grasmat voor de vier belastingsobjecten op 17-04-1991 (% van de bedekte oppervlakte)	68
Bijlage I: N-mineraal afhankelijk van bodembelasting en stikstofgift, bepaald voor en na het groeiseizoen	69

Samenvatting

Vanaf het midden van de jaren zeventig is door het steeds toenemen van de lasten per machine-eenheid grote bezorgdheid ontstaan over de conditie van de bodem. De machines veroorzaken ongewenste sporen in het land en beïnvloeden de grasgroei negatief door bodemverdichting.

Uit een analyse van het probleem blijkt dat er mogelijkheden zijn de wieluitrusting van trekkers, wagens en werktuigen zo op de bodemcondities af te stemmen dat er bij berijding geen sporen ontstaan. Met behulp van een zogenaamde kritieke bandspanning, behorend bij een bepaalde bodemconditie, kan worden bepaald met welke wieluitrusting er 'spoorloos' op het land kan worden gereden.

In dit berijdingsonderzoek is gezocht naar antwoorden op de vragen 'bij welke bodemconditie is de drogestofopbrengst van gras maximaal' en 'wat is de relatie tussen berijding (bodembelasting) en bodemconditie'. De voornaamste doelstelling was het leveren van kwantitatieve informatie over de relatie berijding, bodemconditie en grasproductie.

De proef is uitgevoerd van 1988 t/m 1992 als blokkenproef met 4 bodembelastingsobjecten en 3 herhalingen, op een zandgrond op het proefbedrijf Oostwaardhoeve te Slootdorp. Bij aanvang van de proef werd de grond eerst tot 50 cm diep losgemaakt. Dit leidde tot een pakket losse grond van 60 cm dikte, aangelegd in 12 banen van 180 m lengte en 2 m breedte. Drie objecten zijn bij aanleg met een 2 m brede stalen rol, gemonteerd in een speciaal ontwikkeld belastingsframe, bereden met een belasting van resp. 4,5, 8,5 en 14,5 ton. Eén object werd niet belast. Vervolgens is gras ingezaaid. Op elk oogsttijdstip werd de berijding met 4,5, 8,5 en 14,5 ton herhaald. Hiermee werd de belasting die normaal op het veld plaatsvindt, gesimuleerd. In 1990 is de proef uitgebreid tot 3 stikstofniveaus (140, 280 en 420 kg ha⁻¹ jaar⁻¹) en vanaf 1991 is hier nog een object met 0 kg N aan toegevoegd. De bodemconditie werd tijdens de proef gekarakteriseerd door het bepalen van de dichtheid, de indringweerstand en de pakketdikte. Ook is wekelijks het vochtgehalte van de grond gemeten. Voor de grasproductie zijn opbrengst en samenstelling bepaald.

Na 1 tot 2 jaar berijden veranderde de bodemconditie niet meer wezenlijk; er was evenwicht tussen de bodembelasting en de draagkracht van de bodem. De bodemconditie, uitgedrukt in dichtheid, indringweerstand en dikte van het grondpakket, bleek duidelijk afhankelijk van de opgelegde belasting. Op het onbereden object bedroeg de dichtheid 1,16 g cm⁻³ in de lagen 15-20 cm beneden maaiveld (-mv) en 30-35 cm -mv. Op het zwaarst bereden object bereikte de dichtheid een eindwaarde van 1,41 g cm⁻³. De indringweerstand bedroeg op dezelfde objecten respectievelijk 0,6 en 4,2 MPa. De pakketdikte (60 cm bij aanvang van de proef) was daar resp. 55 en 44 cm. Gedurende de proefjaren was er vrijwel geen verschil in het bodemvochtgehalte (gew. %, d.b.) tussen de belastingsobjecten.

In alle jaren is er een maximale drogestofopbrengst bereikt bij het object 'bodem-

belasting 4,5 ton'. De drogestofopbrengst bij het onbereden object was vergelijkbaar met die van het object 'bodembelasting 14,5 ton'. De drogestofopbrengst nam significant af, zowel bij een toename van de bodembelasting van 4,5 naar 8,5 ton als bij een toename van 8,5 naar 14,5 ton. Bij een stikstofniveau van $285 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ werd bij het object 'bodembelasting 14,5 ton' een 12% lagere opbrengst gevonden dan bij het object 'bodembelasting 4,5 ton'.

In absolute zin bleken de opbrengstverschillen tussen de diverse belastingstrappen niet door het niveau van de stikstofgift te worden beïnvloed.

Wat de samenstelling van het gras betreft, is gebleken dat de energiewaarde toenam naarmate de bodembelasting toenam. Het ruw as en het ruw eiwit namen af bij toenemende bodembelasting.

1 Inleiding

1.1 Algemene achtergrondinformatie

Vanaf het begin van de ontwikkeling van landbouwbanden is de aandacht geconcentreerd geweest op trekkrachtontwikkeling en spoorvorming. Dit onderzoek werd vooral op bouwland uitgevoerd. Met name werd veel aandacht besteed aan de verandering van de fysische conditie van de bodem bij spoorvorming (Söhne, 1951; Söhne, 1953; Bolling, 1987). De gevolgen van spoorvorming op de produktie van gewassen werd relatief weinig bestudeerd.

In de jaren zeventig nam in de praktijk de bezorgdheid toe over teruggang van de produktie door intensivering van de mechanisatie op het veld. De algemene gedachte daarbij was dat de grond door de zwaardere trekkers en werktuigen te veel werd verdicht. Er ontstond ook bij het onderzoek een toenemende belangstelling voor de gevolgen van bodemverdichting op de gewasproduktie. Relaties met het rijden op het land werden duidelijk gelegd (Eriksson *et al.*, 1974). Ook de aandacht voor het probleem van verdichting van de ondergrond nam toe (Håkansson en Danfors, 1981). Er trad in die periode een verandering op in het denken over banden en berijding. Berijding werd meer gezien als een onderdeel van het management van de bodemstructuur (Soane, 1982). De aandacht verschoof van bandtechnische kwaliteiten naar thema's waarbij produktie-effecten een centrale plaats innamen. Een interessante benadering van het probleem berijden is het onderzoek van Gunjal en Raghavan (1986). Hierin zijn trekker-grootte (kW), bodemdruk, percentage bereden oppervlakte en opbrengst (erwten) in samenhang benaderd en zijn onderlinge verbanden aangegeven. In hun studie beschouwden zij rijsporen als een integraal onderdeel van de conditie van het veld. Het is ook in de jaren tachtig dat onderzoek werd gedaan aan 'controlled traffic' systemen (Taylor en Gill, 1984; Perdok en Lamers, 1985) en aan wiel-grond-plant relaties bij lagedruk- en hogedrukberijdingssystemen (Vermeulen en Klooster, 1992). Deze onderwerpen hadden met betrekking tot het probleem insporing en bodemverdichting juist het voorkómen van spoorvorming en verdichting als uitgangspunt. In de 'controlled traffic' systemen werden rijstroken en teeltzone's van elkaar gescheiden, op de teeltzone's werd niet gereden. Bij de lagedrukberijdingssystemen werden de mogelijkheden onderzocht om via aangepaste wieluitrusting van trekkers, wagens en werktuigen te voorkomen dat de conditie van de bodem bij berijding verandert (Tijink *et al.*, 1990a). Voor de akkerbouw is in die jaren aangetoond dat rijden met op de conditie van de bodem afgestemde banden, een hanteerbare en economisch verantwoorde methode is om insporing, verdichting en effecten op de produktie te voorkomen (Vermeulen en Perdok, 1994).

Op grasland was het onderzoek in de jaren zeventig, door bestudering van sporen, sterk gericht op de nadelige effecten van berijding (Gooyer, 1974; Luten *et al.*, 1983). In de jaren tachtig werd, vooral door Engels onderzoek, ook voor grasland de prioriteit verlegd van 'wat zijn de gevolgen van berijding' naar 'hoe is te voorkomen dat berijding gevolgen heeft' (Frost, 1988; Douglas *et al.*, 1992). Zij brachten daarmee ook voor grasland de technische mogelijkheden van aangepaste wieluitrusting (banden en bandspanning) meer in beeld.

In Nederland heeft het onderzoek naar bodemverdichting op grasland een nieuwe impuls gekregen door de oprichting in 1986 van de werkgroep 'Bodemverdichting Grasland'. IMAG-DLO heeft in dat jaar in overleg met de leden van de werkgroep het samenspel tussen wieluitrusting, bodemconditie en grasproductie opnieuw geanalyseerd. Op basis van deze analyse, toegesneden op zandgrond en op de Nederlandse omstandigheden, zijn onderzoeksvragen geformuleerd en is door IMAG-DLO een proefplan opgesteld en uitgevoerd.

1.2 Probleem

De problemen die het berijden van grasland oplevert, worden veelal als volgt geformuleerd.

In een aantal situaties ontstaan als gevolg van berijding sporen in het grasland. Door de verdichting in de sporen wordt de bodemconditie ongunstig beïnvloed, waardoor er effecten op de drogestofopbrengst kunnen ontstaan. Een bijkomend probleem is, dat ongelijk land lastig is bij het rijden en ook dat sporen in het grasland onder andere leiden tot ongewenste verschillen in maaihoogte.

Omdat berijding gespreid over het perceel plaatsvindt zal na enige tijd het gehele perceel in meer of mindere mate zijn verdicht. Opbrengst-effecten beperken zich dan niet tot de sporen maar betreffen het gehele perceel.

1.3 Analyse van het probleem

Uit onderzoek is bekend dat spoorvorming in het algemeen kan worden voorkomen door het aanpassen van de wieluitrusting van trekkers en werktuigen op de draagkracht van de bodem. De wieluitrusting zóver aanpassen dat ook onder extreem natte omstandigheden zonder insporing kan worden gereden vraagt echter zeer hoge investeringen. Om onder die omstandigheden toch insporing te voorkomen is het aantrekkelijker de lading te beperken of helemaal niet te rijden. Insporing kan dus worden voorkomen door een combinatie van structurele en operationele maatregelen. Economische overwegingen zullen in hoge mate de keuze voor de feitelijke combinatie van maatregelen bepalen.

Wordt bij het probleem berijding niet alleen spoorvorming maar ook verdichting en opbrengst betrokken, dan moet echter eerst worden ingegaan op de meer fundamentele vraag: welke bodemcondities zijn met het oog op de drogestofopbrengst eigenlijk gewenst en moeten dus worden gehandhaafd. Berijding zou deze condities namelijk niet moeten verstoren. Daarbij is het nodig ook andere processen, die de bodemconditie beïnvloeden, in kaart te brengen. Op deze wijze benaderd is het onder 1.2 geformuleerde probleem tot drie aandachtspunten voor onderzoek te herleiden:

- bodemconditie en drogestofopbrengst;
- berijding, bandspanning en insporing;
- andere bodembelastende processen.

1.3.1 Bodemconditie en drogestofopbrengst

Algemeen wordt aangenomen dat een losse grond de beste conditie heeft voor het produceren van gras. De praktijk laat echter zien dat de conditie van de bodem, die bij graslandinzaai wordt 'gemaakt', niet alleen afgestemd wordt op de conditie die de plant vraagt om maximaal te kunnen produceren. Ook het feit dat er zonder al te grote insporing op het land gereden moet worden, is van invloed. De bodem moet namelijk een zekere draagkracht hebben om spoorvorming bij de 'gangbare' wieluitrusting te voorkomen. In het algemeen is onbekend in hoeverre de bodemconditie die men bij inzaai maakt optimaal is voor grasgroei. Uit het feit dat de praktijk zich zorgen maakt over bodemverdichting kan echter worden afgeleid dat de conditie van de grond mogelijk te veel is opgeschoven in de richting van een goede berijdbaarheid.

In de literatuur zijn vrijwel geen onderzoeken beschreven waarin de conditie van de grond waarop de berijdingsproeven zijn uitgevoerd, wordt vergeleken met de conditie die tot maximale drogestofopbrengst leidt; potentiële opbrengsten worden niet genoemd. De uitgangsconditie van de grond is vrijwel altijd beschreven als een perceel grasland (bestaand of nieuw ingezaaid), op een bepaalde plaats (geografische kenmerken) en wordt vaak aangevuld met gegevens over grondsoort en een aantal fysische bodemkenmerken zoals dichtheid, indringweerstand, vochtgehalte en waterretentie. Hierdoor hebben de door berijding ontstane verschillen in bodemconditie en opbrengst (in en buiten het spoor) uitsluitend een relatieve betekenis. Berijdingsonderzoek is steeds sterk op de praktijk gericht geweest: spoorvorming was ongewenst en men wilde de conditie die er was handhaven. Hoe ver de drogestofopbrengst af ligt van de opbrengst die wordt verkregen als de bodem in de ideale conditie zou verkeren, is daarbij niet vast te stellen.

Een mogelijkheid om deze berijdingsonderzoeken achteraf toch te voorzien van informatie over de 'kwaliteit' van de grond waarop de proeven zijn uitgevoerd, ofwel hoe de actuele drogestofopbrengst zich verhoudt tot de potentiële opbrengst, is dat onderzoek in verband te brengen met onderzoek waarbij relaties tussen bodemconditie en opbrengst zijn beschreven. De koppeling kan dan via de bodemeigenschappen worden gemaakt. Voor de Nederlandse omstandigheden is echter onvoldoende informatie in de literatuur voorhanden. Ook groeimodellen voor gras geven voor verschillende bodemcondities op dit moment nog geen bruikbare uitkomsten voor dit doel (Vermeulen en Boone, 1990). Eenvoudig meetbare fysische bodemkenmerken zoals bijv. dichtheid en indringweerstand komen in deze modellen niet als parameter voor, terwijl de parameters die wel in de modellen voorkomen vrijwel nooit zijn vermeld in berijdingsonderzoek. De leemte in de kennis over de optimale bodemconditie voor het produceren van gras kan worden opgevuld door in berijdingsproeven de bodemconditie in meerdere fysische kwaliteiten op te nemen. Deze proeven zouden een object met een uiterst losse bodemconditie moeten bevatten waarop in het geheel niet wordt gereden. Daarnaast kunnen andere bodemcondities worden aangelegd door de losse grond zwaar of minder zwaar te belasten. De verwachting is dat er na enige keren rijden geen verdichting meer plaatsvindt. Er kan dan gesproken worden van een evenwicht tussen bodembelasting en bodemconditie. Tevens wordt verwacht dat de bodemconditie waarbij dit evenwicht zich instelt afhankelijk is van de hoogte van de belasting. Op deze duurzame bodemcondities kunnen dan de drogestofopbrengsten worden vastgesteld.

De stikstofgift bepaalt in hoge mate de drogestofopbrengst. Onduidelijk is of opbrengst-

verliezen door een sub-optimale bodemconditie groter zijn naarmate de stikstofgift lager is. Het is daarom zinvol om ook de stikstofgift als variabele in dergelijke proeven op te nemen.

1.3.2 *Berijding, bandspanning en insporing*

Als bij het belasten van grond een bepaalde druk wordt overschreden zal de grond blijvend vervormen. Deze zogenaamde kritische druk kan eenvoudig aan bodemmonsters worden bepaald. Bij losse grond ligt de kritische druk lager dan bij sterk verdichte grond. Verdichting van grond, insporing, kan worden voorkomen door ervoor te zorgen dat de druk die op een grond wordt uitgeoefend niet hoger is dan de kritische druk (Tijink *et al.*, 1990b).

Bij berijding wordt grond via de banden belast. De bandspanning is een belangrijk criterium bij de keuze van banden voor trekkers, wagens en werktuigen. Bij een bepaalde last leidt een lage bandspanning tot een relatief brede band en een hoge bandspanning tot een relatief smalle band.

Er is een verband tussen de bandspanning en de druk die de band op de bodem uitoefent (bodemdruk) (Koolen en Kuipers, 1983; Perdok en Arts, 1986; Tijink, 1988; Kurstjens, 1993). Hoe hoger de bandspanning is, hoe hoger ook de bodemdruk zal zijn. Insporing kan daarom worden voorkomen door ervoor te zorgen dat de bandspanning op de kritische bodemdruk is afgestemd. Hier wordt het woord afgestemd gebruikt omdat het precieze verband tussen bandspanning, bodemdruk en de in het laboratorium bepaalde kritische bodemdruk, niet bekend is. Het maken en toetsen van een voor de praktijk bruikbaar model van bovengenoemde relaties zal nog jaren van coherent onderzoek vragen.

Voor berijdingsonderzoek, waarbij via het effect op de bodem ook de effecten op gewasproductie bestudeerd worden, is het aantrekkelijk om de berijdingen te simuleren. Hiermee wordt bereikt dat de gewasproductie op uniforme stroken grond gemeten kan worden en dat de berijding goed gedefinieerd en dus reproduceerbaar is (Vermeulen *et al.*, 1989). Een nadeel van deze methode is dat de gesimuleerde berijdingen niet direct adviezen voor wieluitrustingen opleveren.

Om de praktijk toch op korte termijn hiervan te kunnen voorzien, is door IMAG-DLO een nieuwe onderzoeksmethode ontwikkeld. Bij deze methode, beschreven door Arts (1993), kan op elke bodemconditie de maximale bandspanning waarmee kan worden gereden zonder dat sporen ontstaan, bepaald worden. Deze bandspanning wordt de kritieke bandspanning genoemd. Naarmate grond meer verdicht is, zal de kritieke bandspanning hoger zijn. Het is echter niet alleen belangrijk of de grond 'los' of 'vast' is, ook het bodemvochtgehalte speelt een rol. Naarmate de grond vochtiger is, zal de kritieke bandspanning lager zijn. Voor de praktijk moet de kritieke bandspanning daarom onder natte bodemomstandigheden worden bepaald. Bij deze aanpak wordt dus voorbijgegaan aan de vraag of de conditie van de aanwezige grond wel de meest wenselijke is voor het produceren van gras.

1.3.3 Andere bodembelastende processen

Natuurlijke processen zoals bezakking, zwel en krimp hebben invloed op de conditie van de grond (Schachtschabel *et al.*, 1989). Bij losse grond is deze invloed anders dan bij vaste grond. Voor de huidige, relatief dichte, zandgronden is de betekenis van deze natuurlijke processen niet groot. Voor de keuze van een wieluitrusting op lossere dan de bestaande bodemcondities is inzicht in het effect van de natuurlijke processen echter noodzakelijk. Het heeft bijvoorbeeld geen zin een wieluitrusting te gebruiken die een uiterst losse grond niet beïnvloedt als die grond door natuurlijke invloeden toch niet in die losse conditie kan blijven.

Behalve berijding vindt er op blijvend grasland ook vrijwel altijd beweiding plaats. Betreding door vee is een bodembelastende actie waardoor de conditie van de grond kan veranderen. Er zijn echter grote verschillen tussen de belasting van de grond door vee en die door wielen en banden. Deze betreffen onder andere de vorm en afmetingen van het contactvlak met de grond en de verdeling van de belastingsintensiteit over het perceel. Hoewel berijding en beweiding in de praktijk vrijwel altijd samen voorkomen is het vanwege bovengenoemde verschillen in aard en omvang niet wenselijk om beide vormen van belasting in één proef op te nemen. Oorzakelijke verbanden kunnen nauwkeuriger worden aangegeven als de effecten van berijding los van beweiding worden bestudeerd.

1.4 Doelstellingen van het onderzoek

Op basis van de voorgaande analyse en het geschetste perspectief zijn de onderstaande doelstellingen voor het onderzoek geformuleerd.

- A: Het leveren van kwantitatieve informatie over de relatie berijding, bodemconditie en grasproductie.
 - Het onderzoek moet aangeven in welke mate de bodem door belasting wordt beïnvloed. Tevens moeten de gevolgen voor de grasproductie en vocht-huishouding worden onderzocht. Bij de in het onderzoek betrokken bodemcondities moeten de consequenties voor de benodigde wieluitrustingen worden aangegeven (kritieke bandspanning).
- B: Het steunen of verwerpen van de onderstaande hypothesen op basis van de resultaten van het veldonderzoek.
 - hypothese 1: bij herhaald rijden over grasland op zandgrond ontstaat uiteindelijk een evenwicht tussen de bodembelasting en de draagkracht van die bodem (bodemconditie).
 - hypothese 2: een toename van de bodembelasting leidt tot een hogere bodemdichtheid (bij de evenwichtssituatie) en heeft een afname van de drogestof-opbrengst tot gevolg.
 - hypothese 3: opbrengstverliezen door sub-optimale bodemcondities zijn, uitgedrukt in kg drogestof per hectare, groter naarmate de stikstofgift lager is.

1.5 Afbakening van het onderzoek

Het onderzoek was beperkt tot de bestudering van de gevolgen van berijding voor bodem en gewas. De economische consequentie van de keuze voor een berijdingssysteem viel buiten het kader van dit onderzoek. In het onderzoek was geen beweiding opgenomen.

2 Methoden en materialen

2.1 Proefopzet

In april 1988 is op het IMAG-DLO proefbedrijf Oostwaardhoeve te Slootdorp een 2 ha groot proefveld aangelegd.

De omschrijving van de grond op het proefveld luidt: een uiterst fijnzandige (M50 50-105), sterk lemige (30% leem), iets lutumhoudende, kalkrijke verwerkte vlakvaaggrond. Deze zandgrond heeft een relatief hoog percentage organische stof (5%).

De gemiddeld hoogste grondwaterstand is meer dan 80 cm beneden maaiveld (-mv) en de gemiddeld laagste grondwaterstand bedraagt meer dan 160 cm -mv (Gt VII). Op het proefveld bevond zich een goed functionerende drainage op 1,2 m -mv; de afstand tussen de drains was 11 m.

Het berijden van de grond is in deze proef niet uitgevoerd met wielen en banden zoals ze in de praktijk worden gebruikt. Er is gebruik gemaakt van een door IMAG-DLO ontwikkeld bodembelastingsframe (Vermeulen *et al.*, 1989; Arts *et al.*, 1990). Het belangrijkste onderdeel van het frame (figuur 1) is een stalen rol van 2 m breed en 1,2 m diameter.



Figuur 1 Door IMAG-DLO ontwikkeld belastingsframe voor bodemverdichtingsonderzoek.

Figure 1 Loading frame developed by IMAG-DLO for research on soil compaction.

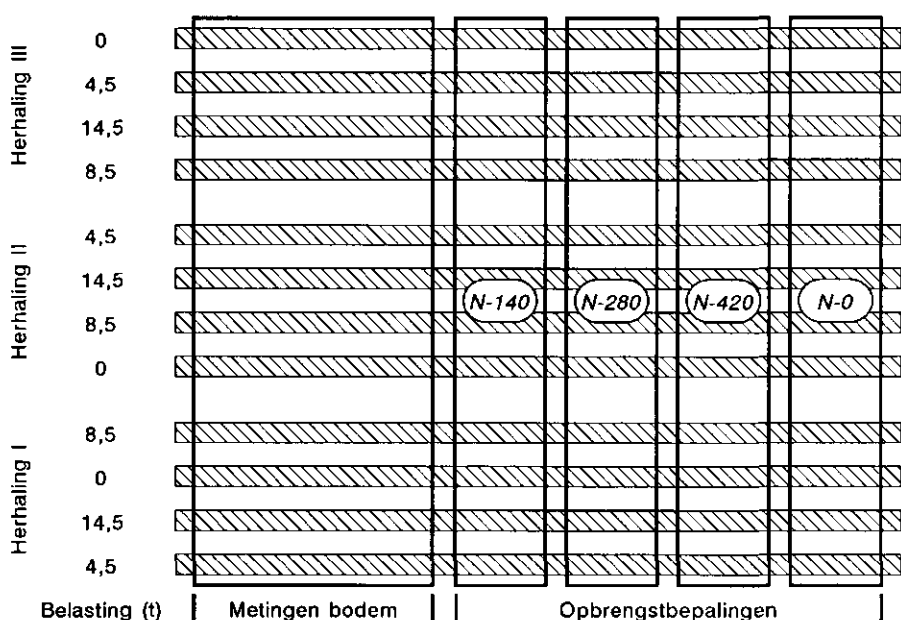
Dit frame is bedoeld voor proeven waarbij de grond in verschillende condities moet worden gebracht en de gewasproductie moet worden bestudeerd. De consequentie van deze keuze is dat resultaten niet direct naar de praktijk kunnen worden vertaald. In de proef zijn 4 bodembelastingsobjecten opgenomen. Vanuit een zeer losse uitgangssconditie van de bodem werden drie objecten met behulp van het belastingsframe belast

met resp. 4,5, 8,5 en 14,5 ton. Op één object werd in het geheel niet gereden. Dit object wordt in dit rapport benoemd als 'bodembelasting 0 ton'. Behalve bij aanleg werd er in de jaren 1988 t/m 1991 na elke maaibeurt met het belastingsframe één keer over elk object gereden met de bodembelasting die bij de aanleg was toegepast. Door deze procedure ontstaan er uiteindelijk sterk verschillende bodemcondities. De zeer losse bodemconditie (bodembelasting 0 ton) is vergelijkbaar met de conditie bij bedden-teelt. De bodemconditie als gevolg van de hoogste bodembelasting kan worden vergeleken met de conditie die ontstaat bij relatief smalle banden en hoge bandspanningen (Arts et al., 1991).

Het effect van de bodembelasting werd onderzocht in een gewarde blokkenproef met drie herhalingen. Van het proefveld, dat bestond uit 12 proefbanen (4 bodembelastings- objecten en 3 herhalingen) van 180 m lengte en 2 m breedte, werd één stuk uitsluitend benut voor het doen van metingen aan de bodem. Op het andere deel werden de opbrengstbepalingen gedaan.

De proef is gestart met één stikstofniveau in de jaren 1988 en 1989 (in opzet 320 kg ha^{-1} jaar⁻¹ zuiver N). In 1990, 1991 en 1992 is dit aantal tot drie niveaus uitgebreid (in opzet $140, 280$ en 420 kg ha^{-1} jaar⁻¹). In 1991 en 1992 is bovendien een object 0 kg ha^{-1} jaar⁻¹ aan de proef toegevoegd. De bemesting voor andere elementen is uitgevoerd conform het bemestingsadvies van het bedrijfslaboratorium. Voor de werkelijk gegeven hoeveelheid kunstmest wordt verwezen naar bijlage A.

Voor het aanbrengen van de diverse stikstofgiften werd het voor de opbrengstbepalingen gereserveerde deel van het proefveld in lengterichting opgesplitst in 4 stukken (figuur 2).



Figuur 2 Schema berijdingsproefveld op de Oostwaardhoeve, situatie in 1992.

Figure 2 Diagram of the experimental field on the Oostwaardhoeve in 1992.

De stikstoftrappen waren niet binnen de banen geloot. Met deze opzet kan worden getoetst of verschillen in opbrengsten tussen de bodembelastingen gelijk zijn voor de verschillende N-giften. Het effect van stikstof op de opbrengst kan niet getoetst worden. In 1991 zijn chemische bepalingen aan grond gedaan om inzicht te krijgen in de voorraad opneembare stikstof.

Alle objecten zijn op hetzelfde tijdstip geoogst. Dat betekent dat het aantal snedes voor alle bodembelastingen en alle stikstoftrappen gelijk was. De consequentie was dat bij elke snede sterk uiteenlopende grashoeveelheden werden geoogst. Gelijke maaitijdstippen hebben echter het voordeel dat het weer in de groeiperiode voor alle objecten gelijk is. Het tijdstip van maaien werd bepaald door het object met de hoogste opbrengst. De opbrengst op dat object mocht in principe niet hoger worden dan 3,5 ton drogestof per hectare. Behalve de drogestofopbrengst is de kwaliteit van het gras bepaald.

Om enig inzicht te krijgen in de betekenis van de met het belastingsframe gevormde bodemcondities in relatie tot banden, is op de vier in de proef ontstane bodemcondities voor drie landbouwbanden de kritieke bandspanning bepaald.

2.2 Proefuitvoering

De proefbanen, elk 2 m breed en 180 m lang, zijn bij de start van de proef 50 cm diep bewerkt met een spitfrees en zo in een erg losse conditie gebracht. Tussen de proefbanen lagen vast aangereden onderhoudsstroken.

De eerste bodembelasting werd direct na het spitfreen met behulp van het belastingsframe uitgevoerd. Het frame werd getrokken door een trekker op een spoorbreedte van 3 m, waardoor de proefbanen niet beïnvloed werden door de trekkerwielen. De bodembelasting van 4,5 ton kon in één keer worden aangebracht. Bij de belastingen van respectievelijk 8,5 en 14,5 ton was het niet mogelijk in één keer over de losse grond te rijden. Het object 'bodembelasting 8,5 ton' is daarom eerst met 4,5 ton voorverdicht. Op het object 'bodembelasting 14,5 ton' is eerst met 4,5 en 8,5 ton gereden. Bij de berijdingen die later na elke maaibeurt werden uitgevoerd, werd wel direct met 8,5 en 14,5 ton over de respectievelijke banen gereden.

Het gehele proefveld is ingezaaid met Engels raaigras (weidemengsel BG 3).

Van 1988 t/m 1991 is de bodemconditie van de diverse objecten in de tijd vastgelegd. Van 1988 t/m 1992 is van de grasproductie zowel de samenstelling als de opbrengst bepaald. In 1992 heeft het IB-DLO aanvullend onderzoek gedaan naar de afbraak van organische stof, de N-mineralisatie en de beworteling. Van het bewortelingsonderzoek wordt in dit rapport beperkt verslag gedaan (paragraaf 4.3).

In 1992 is op de vier in de proef ontstane bodemcondities de kritieke bandspanning bepaald. De metingen werden gedaan met de in tabel 1 vermelde banden. De banden hadden een identieke profielvorm en karkasopbouw. De proeven werden, na een langdurige regenperiode, op 26 november 1992 uitgevoerd.

Tabel 1 Afmetingen van de banden die gebruikt zijn bij de bepaling van de kritieke bandspanning.

Table 1 *Dimensions of tyres used for measurement of the critical tyre inflation pressure.*

band	breedte (cm)	diameter (cm)
A	40	100
B	60	117
C	80	135

Alle werkzaamheden, zoals het strooien van kunstmest (schuifradstrooier), het maaien (landbouwcirkelmaaier) en het harken (harkkeerder) werden vanuit de onderhoudspaden uitgevoerd. Er werd niet op de proefbanen zelf gereden.

Voor een gedetailleerde beschrijving van het proefveld inclusief alle uitgevoerde werkzaamheden (o.a. tijdstip en plaats) wordt verwezen naar het logboek van het berijdingsproefveld (Arts *et al.*, 1993).

2.3 Meetmethoden

2.3.1 Bodemconditie

De bodemconditie werd gekarakteriseerd door de dichtheid, het vochtgehalte, de waterretentie, de indringweerstand en de pakketdikte. Ook is de grondwaterstand gemeten.

– Dichtheid

De dichtheid in elke baan is vastgesteld door ringbemonstering (100 cc) in de laag 15-20 cm -mv en 30-35 cm -mv (gemiddelde van 8 ringen per laag). Deze bemonstering is in 1988 vier keer en in 1990 en 1991 één keer uitgevoerd.

– Vochtgehalte en waterretentie

Ter bepaling van het vochtgehalte in situ zijn in de jaren 1988 t/m 1991 wekelijks in elke baan in drie lagen (0-5, 15-20 en 30-35 cm -mv) met een guts grondmonsters gestoken. Per laag en per baan werden 10 monsters tot één mengmonster samengevoegd. Na droging in het laboratorium is het vochtgehalte (gew. %, d.b.) berekend. De ringmonsters die in 1990 en 1991 zijn gestoken werden, behalve voor het vaststellen van de dichtheid, ook gebruikt om in het laboratorium de waterretentiecurven te bepalen.

– Indringweerstand

De indringweerstand van de grond is tot 50 cm diep, op punten met een diepte-interval van 3,5 cm, gemeten met de Bush Penetrometer voorzien van conus type B (ASAE Standards, 1993). Op elke baan werden 10 penetraties uitgevoerd en hieruit werd voor elke diepte de gemiddelde indringweerstand op die betreffende baan berekend. Bij de berijding werd de indringweerstand vlak voor en vlak na de belastingsactie gemeten.

- Pakketdikte

Om de dikte van het pakket aanvankelijk losgemaakte grond te kunnen bepalen, waren in elke baan 5 tegels (30*30 cm) op de vaste grond onder de losgemaakte laag aangebracht. Gedurende de proef is de hoogte van het maaiveld en de hoogte van de tegels ten opzichte van een vast referentiepunt gemeten. Hieruit is de pakketdikte berekend. Bij de berijding werd de hoogtemetingen vlak voor en vlak na de belastingactie uitgevoerd. Ook op het object waarop niet werd gereden, werd de pakketdikte bepaald.

- Grondwaterstand

De grondwaterstand (1988 t/m 1991) is in een daartoe door TNO, Dienst Grondwaterverkenning, op het proefveld geplaatste grondwaterstandsbuis (landbouwbuis) wekelijks opgenomen.

2.3.2 Grasproduktie

De grasopbrengst werd bepaald door uit elk object een strook van 1,2 m breed en minimaal 20 m lang te maaien. Het gras is gewogen en bemonsterd. Van deze monsters is vervolgens het vochtgehalte bepaald en de drogestofopbrengst berekend.

Door het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek te Oosterbeek is de voederwaarde (VEM kg^{-1}), het ruw eiwit (g kg^{-1}) en het ruw as (g kg^{-1}) bepaald, alle per kg droog produkt.

2.3.3 Kritieke bandspanning

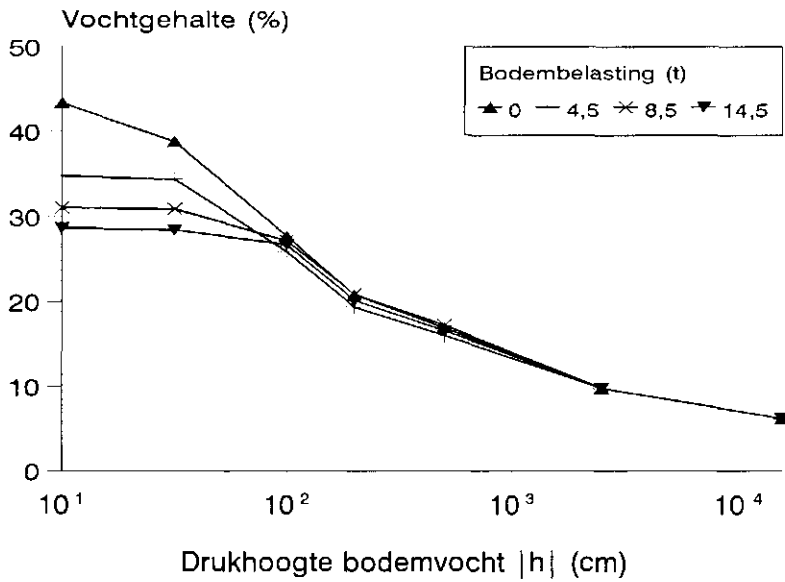
De kritieke bandspanning werd bepaald volgens de procedure beschreven door Arts (1993). De betrokken band werd in de enkelwieltester van IMAG-DLO gemonteerd en op een spanning van 0,50 bar gebracht. Dit was de laagste spanning die voor deze banden was toegestaan. De band werd vervolgens belast conform de spanning-last tabel van de fabrikant. Daarna werd er met deze band ongeveer 20 m gereden en werd visueel door een panel beoordeeld of er sprake was van insporing. Als alléén de nokafdrukken in de grond zichtbaar waren werd dit als 'geen insporing' beschouwd. Wanneer ook tussen de nokken de bodem was ingedrukt werd dit als 'insporing' aangemerkt. Bij 'geen insporing' werd de spanning in de band met 0,25 bar verhoogd en de last op de band opgevoerd in overeenstemming met de spanning-last tabel. Met deze nieuwe instellingen werd opnieuw een proeftraject gereden en werd het 'effect' beoordeeld. Deze procedure werd voortgezet tot het panel oordeelde dat er sprake was van insporing. De voorlaatst ingestelde bandspanning werd dan als de kritieke bandspanning aangemerkt. Deze proef werd in tweevoud uitgevoerd.

In het laboratorium zijn waterretentiecurven aan de in 1990 en 1991 in situ gestoken ringmonsters bepaald. De curven in 1990 waren, zowel voor de laag 15-20 cm -mv als voor de laag 30-35 cm -mv, gelijk (vorm en niveau) aan die in 1991. Dit komt overeen met wat op grond van de vrijwel gelijke dichtheden op de twee tijdstippen mocht worden verwacht. De curven in de figuren 9 en 10 zijn daarom weergegeven als het gemiddelde van de waarden in de beide jaren.

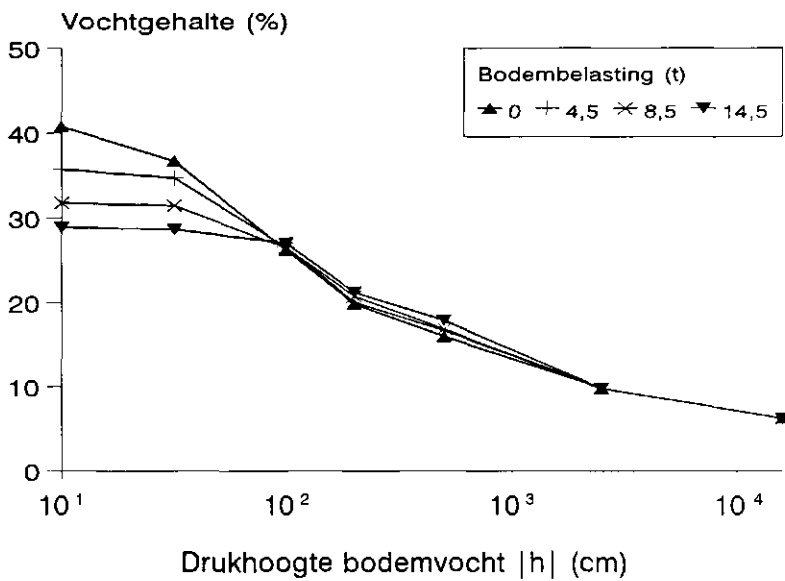
Hoewel de curve voor 'bodembelasting 0 ton' voor de laag 15-20 cm -mv (figuur 9) iets hoger ligt dan voor de laag 30-35 cm -mv (figuur 10) zijn de waterretentiecurven voor beide lagen vrijwel gelijk. Omdat ook het in situ gemeten vochtgehalte in 1990 en 1991 voor beide lagen niet verschilde (figuren 6 en 7), betekent dit dat in die periode ook de drukhoogte van het bodemvocht voor de twee lagen gelijk was.

Zoals blijkt uit de figuren 9 en 10 was er bij een vochtgehalte lager dan 28% (pF 2) geen verschil in drukhoogte van het bodemvocht tussen de bodembelastingen. In de figuren 6 en 7 is te zien dat het vochtgehalte van de grond in het groeiseizoen altijd lager was dan bovengenoemde 28%. De door berijding ontstane bodemcondities vertoonden dus in het groeiseizoen geen verschil in drukhoogten.

In de winterperioden varieerde het vochtgehalte van de grond tussen de 28 en 31%. Uit de figuren 9 en 10 blijkt dat de objecten 'bodembelasting 14,5 ton' en in iets mindere mate 'bodembelasting 8,5 ton' bij die vochtgehalten vrijwel met water verzadigd waren. Er was dus op die bodembelastingsobjecten gedurende lange perioden ook een tekort aan zuurstof in de grond.



Figuur 9 Vochtgehalte (gew. %, d.b.) in de laag 15-20 cm -mv afhankelijk van de drukhoogte van het bodemvocht en de bodembelasting.
Figure 9 Soil moisture content (%, w/w, d.b.) for the 15-20 cm layer as a function of pressure head and for each load.

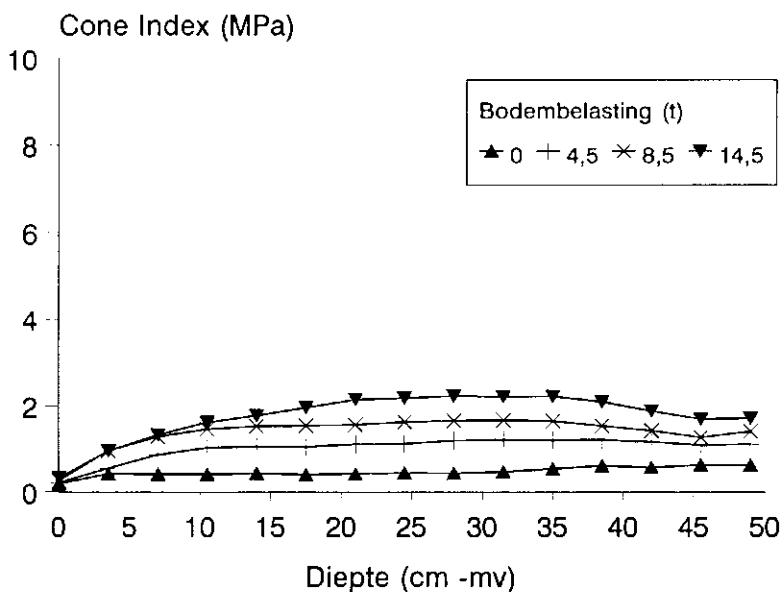


Figuur 10 Vochtgehalte (gew. %, d.b.) in de laag 30-35 cm -mv afhankelijk van de drukhoogte van het bodemvocht en de bodembelasting.
Figure 10 Soil moisture content (%, w/w, d.b.) for the 30-35 cm layer as a function of pressure head and for each load.

3.1.3 Indringweerstand

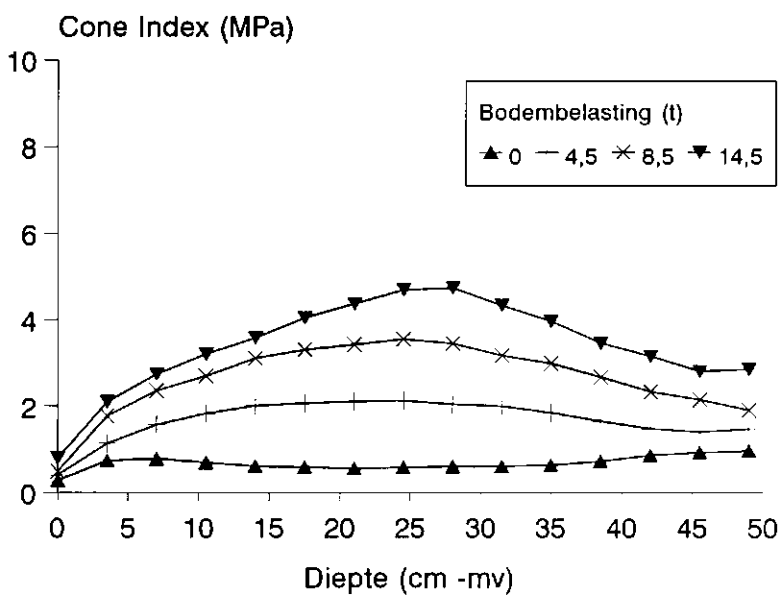
In figuur 11 is de indringweerstand van de bodem bij het begin van de proef afhankelijk van de diepte en de bodembelasting weergegeven. Figuur 12 toont de indringweerstand nadat de grond 4 jaar door de rol was belast. Op de in de figuren aangegeven tijdstippen was het vochtgehalte van de grond vrijwel gelijk.

Zowel aan het begin als aan het eind van de proef waren de indringweerstand duidelijk verschillend voor de vier belastingsniveaus. Voor beide tijdstippen geldt dat naarmate de bodembelasting hoger was, de indringweerstand hoger was. Uit figuur 11 blijkt dat bij het begin van de proef een hoogste indringweerstand werd bereikt van 2,2 MPa (bodembelasting 14,5 ton). Aan het eind van de proef (figuur 12) werd op hetzelfde object een hoogste waarde bereikt van 4,8 MPa. Op beide momenten kwamen de genoemde hoogste indringweerstand voor in de laag 25-30 cm -mv. Globaal gezien waren de indringweerstand op het eind van de proef bijna twee keer zo hoog als bij het begin.



Figuur 11 Indringweerstand van de bodem op 16-06-1988 afhankelijk van diepte en bodembelasting.

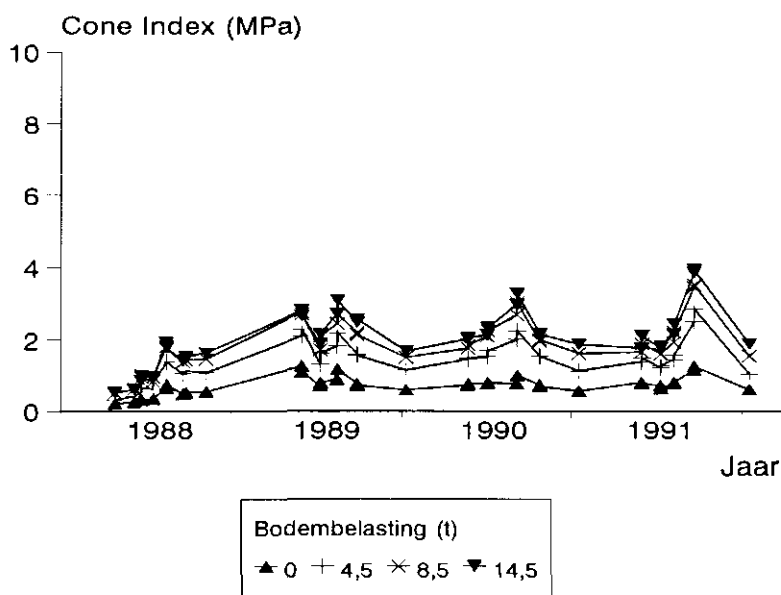
Figure 11 Cone Index of the soil profile on 16-06-1988 as a function of depth for each load applied.



Figuur 12 Indringweerstand van de bodem op 07-01-1992 afhankelijk van diepte en bodembelasting.

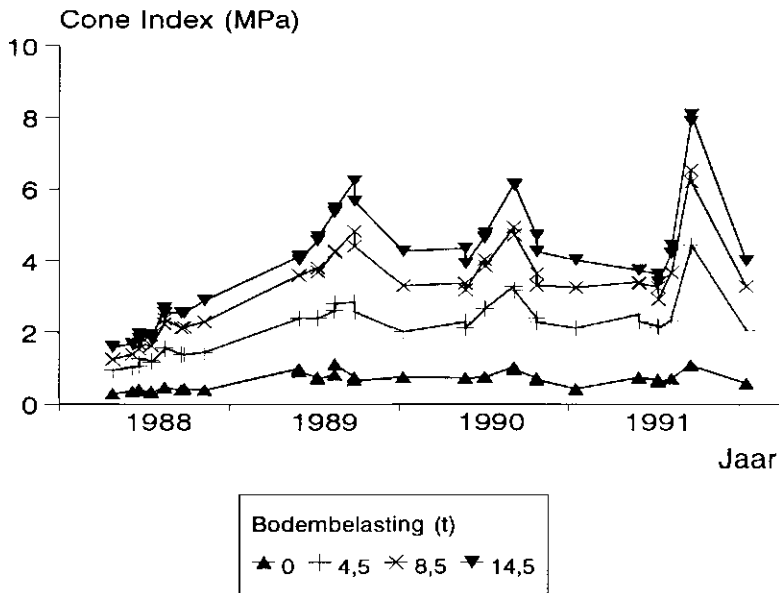
Figure 12 Cone Index of the soil profile on 07-01-1992 as a function of depth for each load applied.

Het verloop van de indringweerstand in de tijd (1988 t/m 1991) voor de lagen 0-5, 15-20 en 30-35 cm -mv wordt respectievelijk in de figuren 13, 14 en 15 weergegeven. De indringweerstand in de lagen 15-20 en 30-35 cm -mv zijn vrijwel gelijk. De indringweerstand in de laag 0-5 cm -mv ligt op een lager niveau. Voor alle lagen geldt dat de indringweerstand in 1988 duidelijk toenam; het sterkst bij het zwaarst belaste object. In de jaren na 1988 is er van een structurele toename van de indringweerstand vrijwel geen sprake meer. Opvallend, met name in de figuren 14 en 15, is de toename van de indringweerstand in de periode tussen de laatste bodembelasting in 1988 en de eerste bodembelasting in 1989. Een verschijnsel bekend onder de naam age-hardening is wellicht hiervoor verantwoordelijk (Dexter *et al.*, 1988).



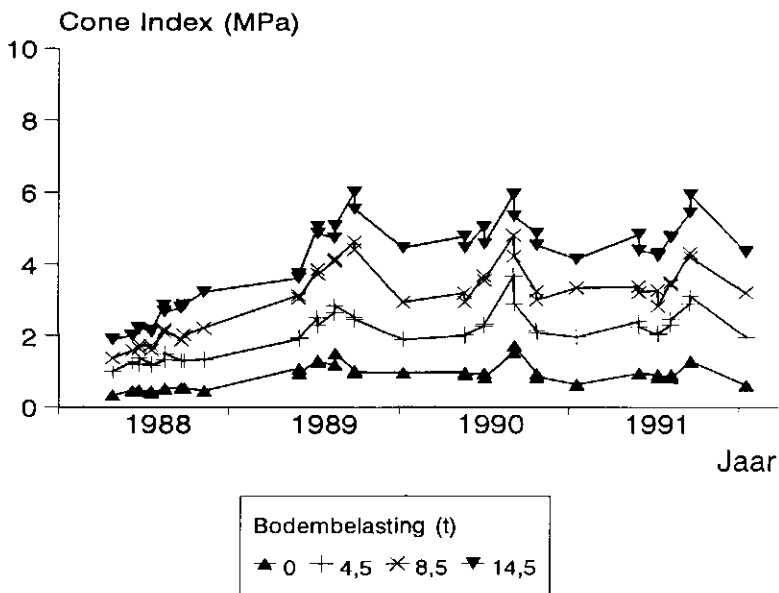
Figuur 13 Indringweerstand in de jaren 1988 t/m 1991 in de laag 0-5 cm -mv bij de diverse bodembelastingen.

Figure 13 Cone Index from 1988 to 1991 in the 0-5 cm layer for each load.



Figuur 14 Indringweerstand in de jaren 1988 t/m 1991 in de laag 15-20 cm -mv bij de diverse bodembelastingen.

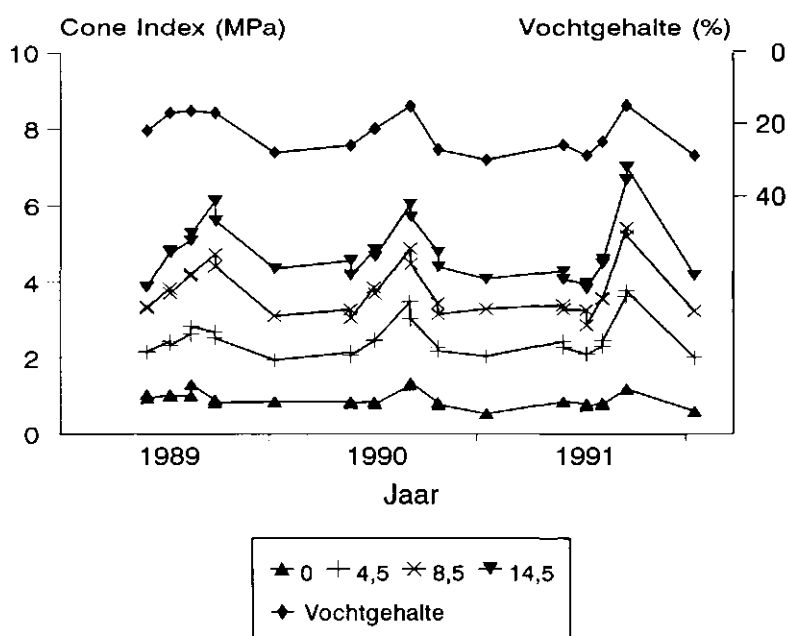
Figure 14 Cone Index from 1988 to 1991 in the 15-20 cm layer for each load.



Figuur 15 Indringweerstand in de jaren 1988 t/m 1991 in de laag 30-35 cm -mv bij de diverse bodembelastingen.

Figure 15 Cone Index from 1988 to 1991 in the 30-35 cm layer for each load.

De indringweerstand in elk object vertonen na 1988 een jaarlijks terugkerend patroon. Kenmerkend voor dat patroon is dat de indringweerstand in de zomerperioden aanzienlijk hoger zijn dan in de winterperioden. Deze pieken in de indringweerstand zijn toe te schrijven aan de droogte in de zomers van 1989, 1990 en 1991. Ter verduidelijking is in figuur 16 het verloop van zowel de indringweerstand als het vochtgehalte van de grond in die jaren uitgezet. De indringweerstand zijn gemiddeld over de lagen 15-20 en 30-35 cm -mv. Het vochtgehalte is behalve over deze twee lagen ook gemiddeld over de vier bodembelastingen.



Figuur 16 Verloop van de indringweerstand (Cone Index bij de diverse bodembelastingen) en het vochtgehalte van de grond (gew. %, d.b.) in de jaren 1989 t/m 1991.

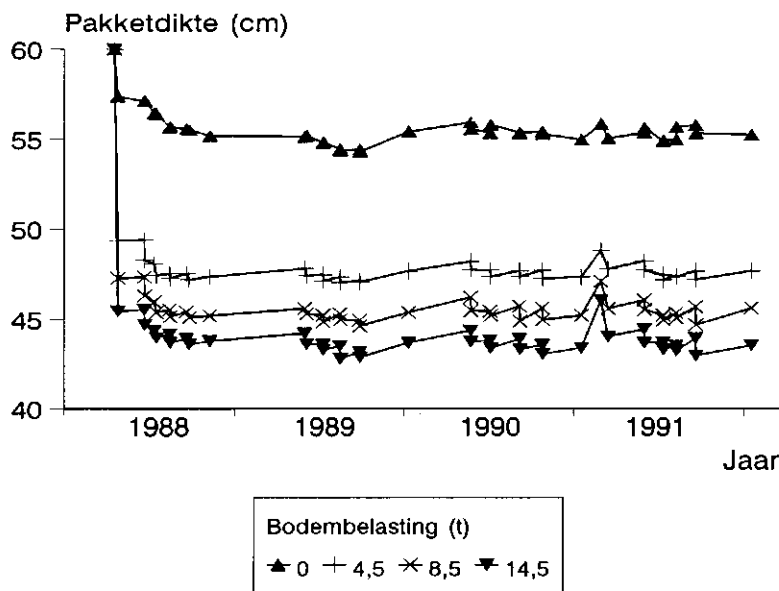
Figure 16 Cone penetration resistance (Cone Index for each load) and soil moisture content (% w/w, d.b.) from 1989 to 1991.

De resultaten van zowel het vochtgehalte als de indringweerstand vertonen een gelijke trend. Een verlaging van het vochtgehalte geeft een verhoging van de indringweerstand te zien. Omgekeerd gaat een verhoging van het vochtgehalte gepaard met een verlaging van de indringweerstand. Verder blijkt dat de toe- en afname van de indringweerstand bij verandering van het vochtgehalte ook afhankelijk is van de bodembelasting en dus van de dichtheid van de grond. Hoe hoger de dichtheid hoe groter de absolute verandering van de indringweerstand. Deze effecten zijn volledig in overeenstemming met de effecten van vochtgehalte en dichtheid op de indringweerstand zoals beschreven door Ayers en Perumpral (1982).

Wordt het effect van vocht op de indringweerstand buiten beschouwing gelaten, dan geldt voor de indringweerstand hetzelfde als voor de dichtheid; na 1988 was er een min of meer stabiele situatie bereikt.

3.1.4 Pakketdikte

In figuur 17 is de pakketdikte in de jaren 1988 t/m 1991 voor de diverse bodembelastingen uitgezet. Bij de eerste keer belasten, tijdens de aanleg van het proefveld in 1988, heeft de pakketdikte de grootste wijziging ondergaan. Het 60 cm dikke pakket losse grond is toen bij de hoogste bodembelasting tot 46 cm samengedrukt. De geringe afname van de pakketdikte bij het object 'bodembelasting 0 ton' is bij het inzaaien van het gras door de bewerking met zaaimachine veroorzaakt.



Figuur 17 Pakketdikte in de jaren 1988 t/m 1991 bij de verschillende bodembelastingen.
Figure 17 Thickness of the initially loosened layer from 1988 to 1991 for each load treatment.

Na de belasting bij aanleg van het proefveld zijn de proefbanen bij elke maaibeurt met het belastingsframe bereden. Uit figuur 17 blijkt dat, in 1988, bij elke volgende bodembelasting de pakketdikte steeds minder beïnvloed werd. In de jaren na 1988 traden nog slechts kleine fluctuaties in de pakketdikte op. Deze resultaten geven aan dat er eind 1988 al een zekere evenwichtssituatie was bereikt tussen de bodembelasting en de draagkracht van de bodem. Op het proefveld deed zich in wezen hetzelfde voor als wat er in de praktijk gebeurt wanneer meerdere malen een wiel door hetzelfde spoor rijdt. Nadat bij de eerste passage van een wiel een spoor is gevormd, wordt dat spoor bij de volgende passages steeds minder verdiept. Uiteindelijk treedt geen verandering van de spoordiepte meer op.

Het verloop van de pakketdikte op het onbereden object geeft aan in welke mate de losse grond door natuurlijke processen werd beïnvloed. Ook hier veranderde de pakketdikte na 1988 niet wezenlijk meer en was er sprake van stabiliteit.

Bij de pakketdiktemetingen is niet nagegaan op welke diepte in het pakket de eventuele veranderingen hebben plaatsgevonden.

Bij de geringe fluctuaties in de pakketdikte in de jaren na 1988 zijn een drietal aspecten interessant.

- Het eerste wat opvalt is dat de pakketdikte afnam naarmate het groeiseizoen vorderde en vervolgens in de winterperiode weer toenam. Deze seizoenschommelingen waren voor alle objecten (inclusief het object onbereden) ongeveer even groot; er was dus geen sprake van een verband met de bodembelasting. Een mogelijke verklaring voor deze geringe fluctuaties is dat zij veroorzaakt worden door de invloed van vocht op de organische stof en daarmee op de dikte van het pakket grond.
- Het tweede interessante verschijnsel heeft betrekking op het moment van berijding zelf en de periode tussen twee berijdingen. Direct na berijding met het belastingsframe was de dikte van het pakket grond vrijwel altijd minder dan vlak voor de berijding. Dit zou kunnen wijzen op plastische vervorming van de grond door bodembelasting. Bij de meting vlak voor de volgende berijding (3 tot 6 weken later) bleek de pakketdikte echter weer te zijn toegenomen. Kennelijk leidden de berijdingen na 1988 dus tot een vermindering van de pakketdikte die tijdelijk was. Er lijkt bij deze grond sprake te zijn van een zeer langzaam elastisch herstel.
- Een derde interessant punt is de toename van de pakketdikte tijdens een aaneengesloten langdurige vorstperiode in het voorjaar van 1991. Vanaf 28 januari tot 16 februari zijn de gemiddelde dagtemperaturen, gemeten op 10 cm boven maaiveld, niet boven de 0 graden Celsius geweest (gemiddelden bepaald uit 'uurlijkse' waarden). De pakketdikte op het proefveld was vlak voor de vorstperiode gemeten. Aanvullende pakketdikte-metingen zijn uitgevoerd direct na de vorstperiode, op het moment dat de grond nog bevroren was (19-02-1991) en nadat de vorst uit de grond was. De resultaten van deze metingen staan vermeld in tabel 3.

Tabel 3 Pakketdikte voor, tijdens en na de vorst in januari/februari 1991 en de indringingsdiepte van de vorst in deze periode.

Table 3 Thickness of the compacted layer before, during and after the frost in January and February 1991 and the frost penetration depth in this period.

	bodembelastingsobject			
	0 ton	4,5 ton	8,5 ton	14,5 ton
pakketdikte (cm) vlak voor de vorstperiode datum 08-01-1991	55,0	47,3	45,2	43,4
indringingsdiepte van de vorst (cm) datum 19-02-1991	27	23	23	23
max. ophoging maaiveld (cm) door de vorst datum 19-02-1991	0,9	1,5	1,9	2,7
resterende ophoging van het maaiveld (cm), vorst uit grond datum 07-03-1991	0,1	0,5	0,4	0,6

De vorst is het diepst ingedrongen in het minst verdichte object. De maximale ophoging blijkt toe te nemen met de verdichting. Op het zwaarst belaste object was deze ophoging 3 keer zo groot als op het onbelaste object. De bevroren grondlaag bleek op het onbelaste object 3% en op het zwaarst belaste object 13% in verticale zin te zijn

uitgezet. Een mogelijke verklaring hiervoor wordt gegeven door Schachtschabel *et al.* (1989). In deze literatuur wordt aangegeven dat vorst zelden tot fysische veranderingen in de bodem leidt wanneer er voldoende luchtgevulde poriën aanwezig zijn. De plaatselijke volumeveranderingen door ijsvorming kunnen in deze poriën worden opgenomen; er ontstaat daarom geen druk op de omliggende bodemdeeltjes. In verzadigde gronden leidt ijsvorming wel tot een fysische bodemverandering. Bij bevriezing van deze grond ontstaat een vergroting van het specifieke bodemvolume.

In deze proef was het zwaarst belaste object in de winterperiode, ook in 1991, vrijwel geheel met water verzadigd (paragraaf 3.1.2) en bevatte dus vrijwel geen luchtgevulde poriën. Naarmate de grond minder zwaar was belast, nam het aantal luchtgevulde poriën toe. Het verschil in luchtgevulde poriën kan een verklaring zijn voor de toenemende ophoging bij toenemende dichtheid.

Het is opmerkelijk dat na afloop van de vorstperiode een zó groot gedeelte van de ophoging weer was verdwenen. Op het onbelaste object was de resterende ophoging nog maar 1 mm terwijl deze op de belaste objecten ongeveer 5 mm bedroeg.

Uit de waarnemingen kan geconcludeerd worden dat de vorst op deze proeflocatie niet heeft geleid tot een aanzienlijk structureel effect op de pakketdikte, ondanks de voor dat proces gunstige condities (verzadigde grond).

3.1.5 Interacties

In dit onderzoek zijn met name de dichtheid, de indringweerstand en de pakketdikte de parameters die de conditie van de grond aangeven. Deze drie zijn in fysische zin niet onafhankelijk van elkaar. Conclusies over de individuele parameters moeten daarom ook in samenhang worden bekeken. Het samendrukken van grond (verminderen van de pakketdikte) moet tot een verhoging van de dichtheid leiden. Bij toenemende dichtheid neemt ook de indringweerstand toe (Elbanna en Witney, 1987). Worden de meetresultaten van de drie genoemde parameters in samenhang bekeken dan zijn zij in overeenstemming met de verwachte trend. Een toenemende belasting leidde tot een afnemende pakketdikte en een toenemende dichtheid en indringweerstand. Omdat voor de individuele parameters (dichtheid, indringweerstand en pakketdikte) de meetwaarden na enige tijd niet meer veranderden is de volgende conclusie gerechtvaardigd: de bodemconditie had zich na ongeveer 1,5 jaar ingesteld op een van de bodembelasting afhankelijke niveau en is daarna niet meer veranderd.

3.2 Grasproductie

3.2.1 Samenstelling

Van de samenstelling van het gras zijn de energiewaarde (VEM), het ruw eiwit en het ruw as, in de drogestof gemeten. De resultaten wat het effect van de bodembelasting betreft zijn in de verschillende jaren niet of nauwelijks verschillend. In dit hoofdstuk worden daarom de resultaten van één jaar (1990) weergegeven. De resultaten van alle proefjaren zijn weergegeven in de bijlagen C, D en E.

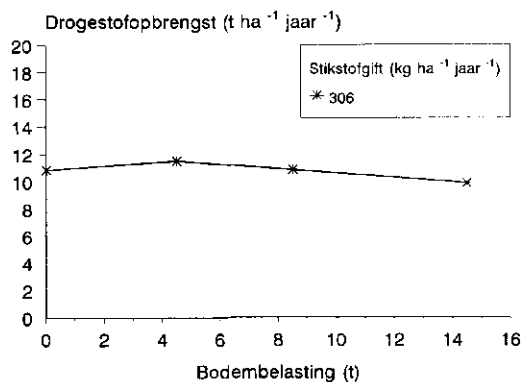
3.2.2 Opbrengst

– Opbrengst drogestof

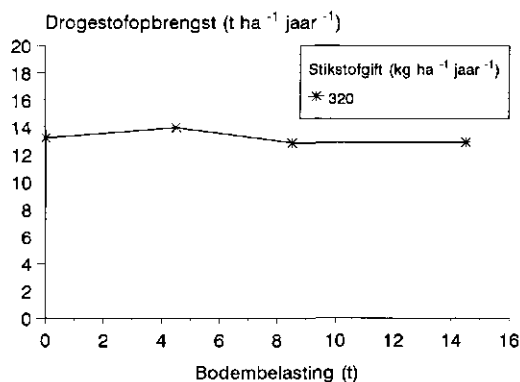
In de figuren 21 t/m 25 zijn de drogestofopbrengsten voor de jaren 1988 t/m 1992 weergegeven. Op de horizontale as is de toegepaste bodembelasting weergegeven. Deze as kan, gezien de resultaten voor wat betreft de bodemconditie, ook gelezen worden als gaande van een uiterst losse (bodembelasting 0 ton) tot een zeer vaste grond (bodembelasting 14,5 ton).

Op de drogestofopbrengsten is een statistische analyse uitgevoerd (Keen, 1993). Het effect van de bodembelasting bleek sterk significant ($P < 0,01$). Ook de verschillen tussen de drogestofopbrengsten bij de opeenvolgende belastingen waren in alle gevallen significant ($P < 0,05$; $LSD = 610$). Uit de statistische analyse bleek verder dat het verloop van de drogestofopbrengst met de belasting in de verschillende proefjaren niet geheel gelijk verondersteld mag worden. De trend was wel in alle jaren hetzelfde. De opbrengst was het hoogst op het object 'bodembelasting 4,5 ton' en bij toenemende belasting (vanaf deze 4,5 ton) nam de opbrengst af. Op het object 'bodembelasting 0 ton' (meest losse bodemconditie) was de opbrengst in alle jaren geringer dan op het object 'bodembelasting 4,5 ton'.

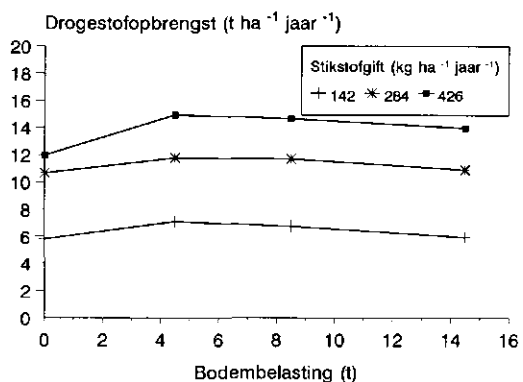
De invloed van de stikstofgift op het verloop van de drogestofopbrengst met de bodembelasting is onderzocht in de jaren 1990 t/m 1992 voor alle stikstofgiften (in opzet 0, 140, 280, en 420 kg ha⁻¹ jaar⁻¹). De interactie tussen gift en opbrengst blijkt significant ($P < 0,01$). Dit wordt vrijwel uitsluitend veroorzaakt door de sterk achterblijvende drogestofopbrengst bij de extreme combinatie 'bodembelasting 0 ton' en hoogste stikstofgift. Wordt van de zestien combinaties berijding/gift namelijk deze ene buiten beschouwing gelaten, dan is er geen sprake meer van een significante interactie ($P = 0,77$). In feite kan bij deze proef geconcludeerd worden dat in absolute zin de afname van de opbrengst door een sub-optimale bodemconditie nauwelijks door het niveau van de gegeven stikstof werd beïnvloed. Anders gezegd: het drogestofverlies in kg als gevolg van een sub-optimale bodemconditie was vrijwel onafhankelijk van de hoeveelheid toegediende stikstof.



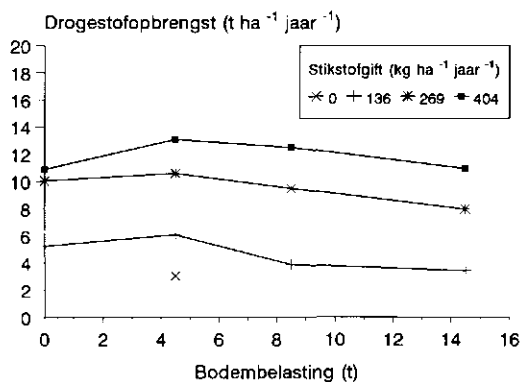
Figuur 21 Opbrengst 1988



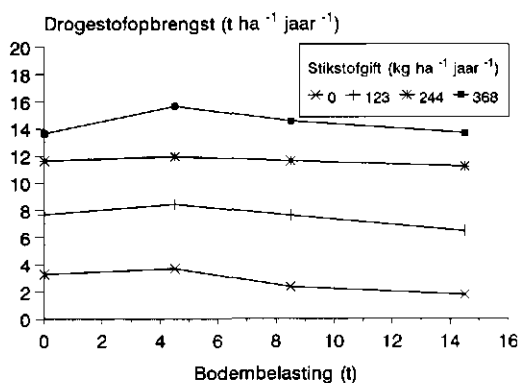
Figuur 22 Opbrengst 1989



Figuur 23 Opbrengst 1990



Figuur 24 Opbrengst 1991



Figuur 25 Opbrengst 1992

Figuur 21 - 25 Drogestofopbrengst van het gras afhankelijk van bodembelasting en stikstofgift.
Figure 21 - 25 Dry matter yield of grass as a function of load and for each rate of nitrogen fertilization.

In tabel 4 zijn de drogestofopbrengsten, gemiddeld over de jaren 1988 t/m 1992, voor de vier bodembelastingsobjecten gegeven bij de 'middelste' stikstofgift (van 1988 t/m 1992 resp. 306, 320, 284, 269 en 244 kg ha⁻¹ jaar⁻¹). De zeer vaste grond (bodembelasting 14,5 ton) bleek gemiddeld 12% minder drogestof op te leveren dan de 'optimale' bodemconditie (bodembelasting 4,5 ton).

Tabel 4 Gemiddelde jaaropbrengsten (drogestof) in de jaren 1988 t/m 1992, afhankelijk van de bodembelasting.

Table 4 Average annual yield (dry matter) in 1988 to 1992 for each load.

bodembelasting (t)	drogestofopbrengst (kg ha ⁻¹)	index
0	11273	94
4,5	11964	100
8,5	11310	95
14,5	10579	88

In een op de praktijk georiënteerd onderzoek op het Regionaal Onderzoek Centrum Cranendonck kwam men, wat betreft de opbrengst-effecten als gevolg van berijding, tot een andere conclusie (Everts en Wopereis, 1993). Bodemverdichting leidde daar, afgezien van de eerste snede in 1989, tot een verhoging van de drogestofopbrengst. In welke mate dit een gevolg is van het verschil in proefopzet en uitvoering (Arts et al., 1991) alsmede de enigszins verschillende grondsoorten en weersomstandigheden, kan niet worden aangegeven (Wouters, 1993).

– Opbrengst energie

De energieopbrengst is een vermenigvuldiging van de energiewaarde van het gras en de drogestofopbrengst. De opbrengst aan energie in kVEM per ha per jaar is voor 1990 weergegeven in figuur 26. De andere proefjaren vertonen een vrijwel gelijk beeld als in 1990 (bijlage F).

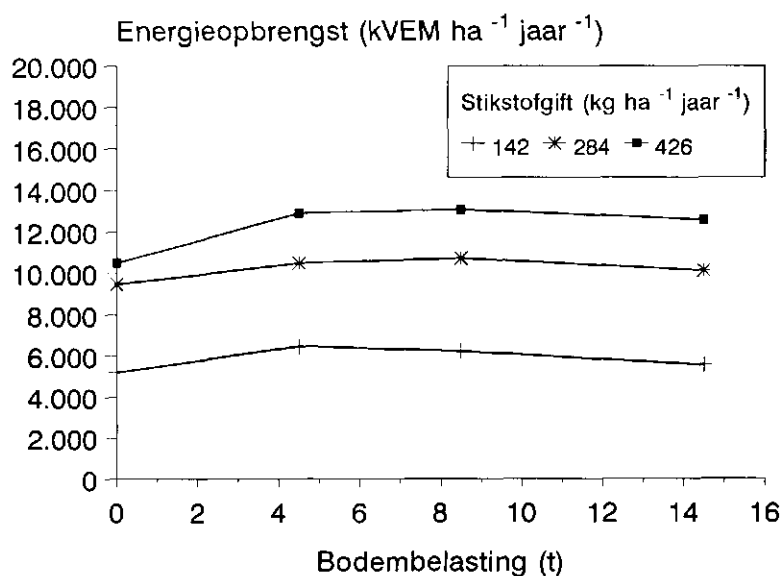
Doordat de energiewaarde maar weinig afhangt van zowel de stikstofgift als de bodembelasting is de grafiek bijna identiek aan die van de drogestofopbrengst. Ook voor de energieopbrengsten geldt dat enige bodemverdichting een positieve invloed heeft.

– Opbrengst ruw eiwit

De opbrengst aan ruw eiwit in kg per ha en per jaar is voor 1990 weergegeven in figuur 27 (zie voor de opbrengst ruw eiwit in alle proefjaren bijlage G).

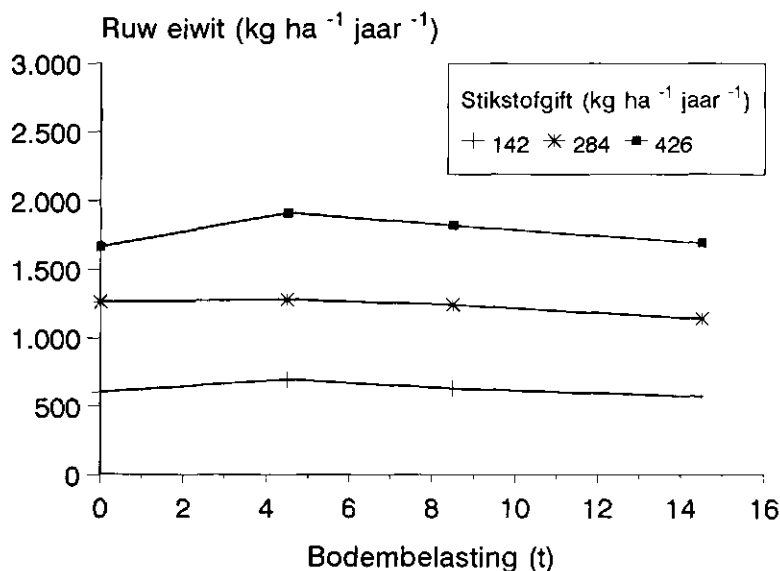
De opbrengst ruw eiwit is het produkt van het gehalte ruw eiwit in de drogestof en de drogestofopbrengst. Het gehalte ruw eiwit neemt af bij toenemende bodembelasting; de drogestofopbrengst is maximaal bij het object 'bodembelasting 4,5 ton'. Deze twee effecten werken tussen de 0 en 4,5 ton bodembelasting nivellerend op de opbrengst ruw eiwit, terwijl boven de 4,5 ton bodembelasting de effecten daardoor juist worden versterkt.

Ondanks de bovengenoemde effecten geldt hier, dat het beeld van de effecten van de bodembelasting op de drogestofopbrengsten ook opgaat voor de opbrengsten ruw eiwit.



Figuur 26 Energieopbrengst in 1990, afhankelijk van bodembelasting en stikstofgift.

Figure 26 Production of energy in 1990 as a function of load and for each rate of nitrogen fertilization.



Figuur 27 Opbrengst ruw eiwit in 1990, afhankelijk van bodembelasting en stikstofgift.

Figure 27 Production of crude protein in 1990 as a function of load and for each rate of nitrogen fertilization.

3.3 Kritieke bandspanning

In tabel 5 zijn de kritieke bandspanningen weergegeven die met behulp van de IMAG-DLO enkelwieltester op het proefveld zijn bepaald. Bij band C (grootste band) kon de kritieke bandspanning op de objecten 8,5 en 14,5 ton bodembelasting niet worden bepaald omdat met de IMAG-DLO enkelwieltester geen belastingen hoger dan 5000 kg kunnen worden uitgevoerd. Bij deze 5000 kg en de bijhorende spanning van 1,1 bar (voor die band) trad nog geen insporing op. De kritieke bandspanning zal daarom hoger zijn dan 1,1 bar.

Naarmate de grond meer verdicht was (hogere bodembelastingen), bleek de kritieke bandspanning hoger te zijn. Dit geldt voor zowel band A, B als C. Dit is in overeenstemming met hetgeen hierover in paragraaf 1.3.2 is gesteld. Ook op het meest losse object (bodembelasting 0 ton) was berijding zonder insporing mogelijk. Voorwaarde daarvoor was dat de bandspanning niet hoger mocht zijn dan 0,5 bar.

Tabel 5 Kritieke bandspanning (bar) voor drie banden op de vier bodembelastingsobjecten.

Table 5 Critical inflation pressure (bar) of three tyres on the plots subjected to the four treatments.

band	bodembelastingsobject			
	0 ton	4,5 ton	8,5 ton	14,5 ton
A	0,5* (1045)	1,5 (1985)	2,5 (2675)	4,0 (3520)
B	0,5 (1925)	1,25 (3285)	1,5 (3660)	2,5 (4935)
C	0,5 (3135)	1,0 (4705)	> 1,1 (> 4975)	> 1,1 (> 4975)

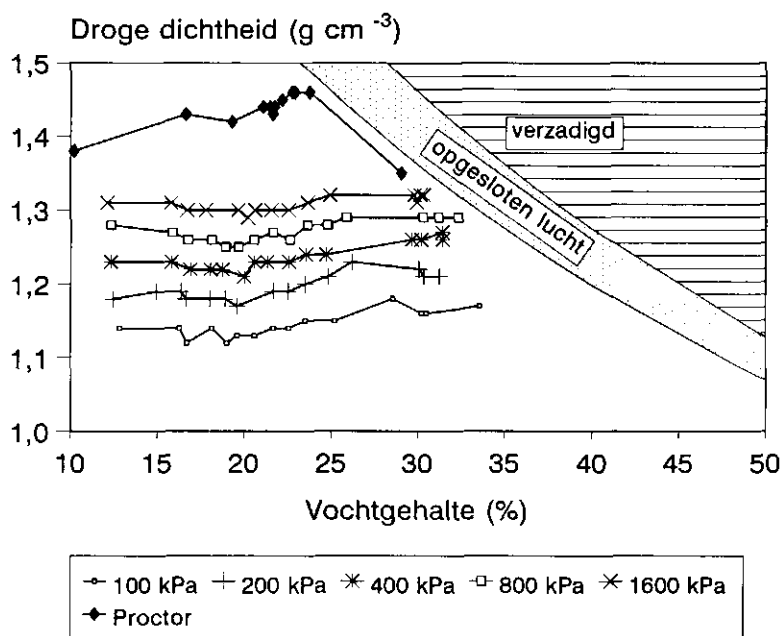
* De tussen haakjes geplaatste waarden zijn de bandlasten (kg) behorend bij de aangegeven bandspanningen (fabrieksspecificaties).

De kritieke bandspanning bleek sterk afhankelijk van de bandmaat; deze was lager naarmate de band groter was. Een verklaring kan zijn dat de drukafbouw in de grond minder snel verloopt naarmate het door de band belaste bodemoppervlak groter is (Perdok en Arts, 1987). Een overschrijding van de kritische druk aan maaiveld zal daarom bij grote banden (groot contactoppervlak) tot grotere diepte in het profiel zijn uitwerking hebben en leiden tot insporing. Bij kleine banden daarentegen, is de druk al snel afgebouwd tot het niveau dat de bodem er niet meer door verdicht wordt, zodat het insporingscriterium, volgens de definitie in dit onderzoek, minder snel gehaald wordt.

4 Aanvullend onderzoek

4.1 Bodemmechanisch gedrag

In het algemeen is de verdichting die ontstaat door het belasten van grond mede afhankelijk van het vochtgehalte van die grond. Naarmate een grond vochtiger is, leidt dezelfde belasting tot meer verdichting. Er is echter een duidelijke grens bij dit proces. Is grond namelijk met water verzadigd dan is deze in theorie niet verder samendrukbaar. Een procedure om inzicht te krijgen in dit bodemmechanisch gedrag van grond is door Söhne (1952) beschreven. In figuur 28 is het bodemmechanisch gedrag van de grond op de proeflocatie weergegeven. De bovenste lijn in deze figuur toont het resultaat van de uit de wegenbouw afkomstige Proctorproef (Eisen, 1978). Deze proef is een zeer zware proef als het om verdichting gaat en levert in feite maximaal te bereiken dichtheden op.



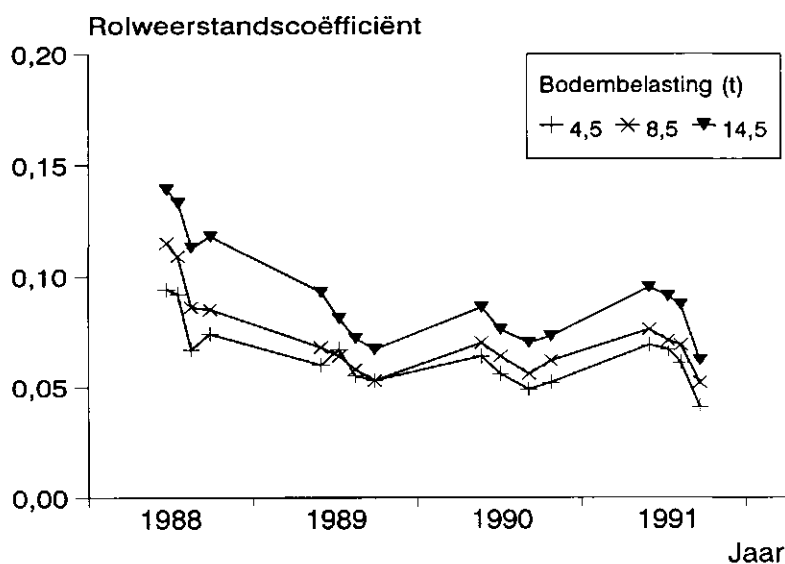
Figuur 28 Dichtheid van grond afhankelijk van vochtgehalte (gew. %, d.b.) en belastingsmethode.
Figure 28 Dry bulk density as a function of moisture content (% w/w, d.b.) and loading method.

De vijf lijnen daaronder geven het verband tussen de dichtheid na uniaxiale compressie (100, 200, 400, 800 en 1600 kPa) afhankelijk van het vochtgehalte van de grond. Op basis van de metingen aan de ringmonsters in 1990 en 1991 (paragraaf 3.1.2) kon het percentage opgesloten lucht worden bepaald. Deze lijn en de verzadigingslijn zijn weergegeven. Uit de figuur blijkt dat verdichting van deze grond, in tegenstelling tot de algemene trend, vrijwel niet beïnvloed wordt door het vochtgehalte. De bereikte dichtheden bij de verschillende drukken zijn voor alle vochtgehalten ongeveer gelijk. Een verklaring voor dit afwijkende gedrag is niet gevonden. Voor het uitgevoerde veld-

onderzoek betekent dit dat de veranderingen van de dichtheid en de pakketdikte door belasting van het grondpakket waarschijnlijk niet beïnvloed zijn door het vochtgehalte op het moment van berijden/belasten.

4.2 Rolweerstand

Bij wielen is er een verband tussen de kracht die een wiel op de grond uitoefent (last) en de kracht die nodig is om dat wiel rollend voort te bewegen (rolweerstand). In principe geldt hoe hoger de last hoe hoger de rolweerstand. Vanwege dit verband wordt de rolweerstand meestal uitgedrukt als rolweerstandscoefficiënt en is gedefinieerd als de rolweerstand gedeeld door de kracht die het wiel op de grond uitoefent. In figuur 29 is de rolweerstandscoefficiënt voor de stalen rol weergegeven op de tijdstippen dat er met het belastingsframe op het proefveld is gereden.



Figuur 29 Rolweerstandscoefficiënt tijdens de berijdingen in de jaren 1988 t/m 1991, afhankelijk van de bodembelasting.

Figure 29 Coefficient of rolling resistance during the loadings in 1988 to 1991 for each load.

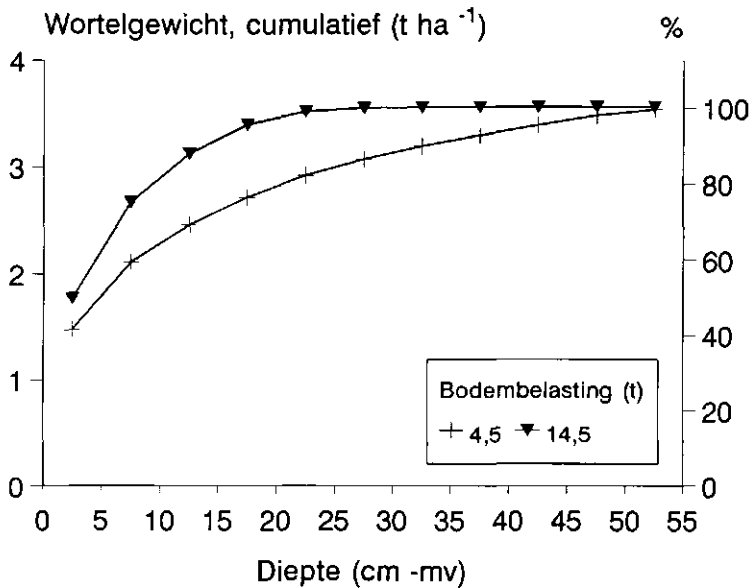
Uit deze figuur blijkt dat de rolweerstandscoefficiënt toeneemt met toenemende bodembelasting. In 1988, toen de bodemconditie nog geen stabiele eindfase had bereikt, was de rolweerstandscoefficiënt hoger dan in de jaren daarna. Vanaf 1989 ligt de coëfficiënt tussen de 0,05 en 0,09. Deze waarden zijn normaal te noemen wanneer er zonder insporing wordt gereden. In de jaren 1989 t/m 1991 neemt de rolweerstand af gedurende het groeiseizoen maar is na de winter weer op het oude niveau. Een zelfde verschijnsel was ook waargenomen bij het verloop van de pakketdikte (paragraaf 3.1.4). Mogelijk is dit een gevolg van het uitdrogen van de grond naarmate het groeiseizoen vordert en leidt dit uitdrogen niet alleen tot een vermindering van de pakketdikte maar ook tot een vermindering van de elasticiteit van de grond en daardoor verlaging van de rolweerstand.

4.3 Beworteling

Op 9 juni 1992 is door IB-DLO onderzoek gedaan naar de beworteling op het proefveld. Dit onderzoek werd uitgevoerd op de objecten 'bodembelasting 4,5 ton' en 'bodembelasting 14,5 ton' en alleen op de 'middelste' stikstofgift (in opzet 280 kg N op jaarbasis). In deze paragraaf wordt beperkt op dit onderzoek ingegaan.

Uit figuur 30 blijkt dat het totale wortelgewicht per hectare (3,6 ton) niet verschilde voor de beide bodembelastingen. Sibma en Ennik (1988) geven, bij een goede N voorziening, een wortelmasa van 3 ton per hectare op. Dit komt overeen met de totale wortelmasa die op het proefveld is gemeten.

De wortelverdeling over het profiel op beide belastingstrappen verschilde sterk. Tot een diepte van 20 cm bleek dat het wortelgewicht in elke laag van 5 cm, het hoogst was op het zwaarst verdichte object. Beneden 25 cm -mv kwamen op dit object vrijwel geen wortels meer voor.



Figuur 30 Cumulatief wortel-drooggewicht per gewasoppervlakte, voor twee bodembelastingsobjecten, beide afhankelijk van de diepte.

Figure 30 Cumulative dry matter weight of roots per crop area as a function of depth, in plots subjected to two of the loading treatments.

In combinatie met de beworteling is het zinvol de indringweerstand van de grond in beschouwing te nemen. Spek (1988) meldt hierover dat het, voor beworteling van akkerbouwgewassen, algemeen aanvaarde maximum van 3 MPa niet geldig is voor gras en naar boven moet worden opgeschoven. In deze proef is gebleken dat, hoewel de indringweerstand op het meest dichte object hoger was dan 3 MPa (tussen de 8 en 25 cm -mv oplopend van 3 tot 4,8 MPa), in die laag nog een redelijke hoeveelheid wortels aanwezig was (23% van de totale wortelmasa). Deze resultaten ondersteunen de eerdergenoemde uitspraak van Spek.

5 Conclusies

5.1 Relatie berijding, bodemconditie en grasproductie

Uit de metingen is gebleken dat er reeds na 1 tot 2 jaar berijden een stabiele bodemconditie was bereikt. Dat wil zeggen dat de daarop volgende berijdingen de bodemconditie niet meer wezenlijk veranderden; er was evenwicht ontstaan tussen de bodembelasting en de draagkracht van de bodem.

De bodemconditie bij dit evenwicht bleek duidelijk afhankelijk van de opgelegde belasting. De dichtheid op het onbereden object bedroeg $1,16 \text{ g cm}^{-3}$. Op de met 4,5, 8,5 en 14,5 ton bereden objecten bereikte de dichtheid een stabiele eindwaarde van respectievelijk 1,28, 1,34 en $1,41 \text{ g cm}^{-3}$. De indringweerstand bedroeg voor de vier opvolgende belastingstrappen (inclusief object onbereden) respectievelijk 0,6, 2,2, 3,6 en 4,8 MPa op 25 cm diepte. Uitgaande van een aanvankelijk pakket losse grond van 60 cm dikte, werd een stabiel grondpakket bereikt bij een pakketdikte van respectievelijk 55, 48, 46 en 44 cm.

Gedurende de proefjaren was er vrijwel geen verschil in vochtgehalte (gew. %, d.b.) tussen de belastingsobjecten.

De meest losse grond (onbereden object) leidde in deze proef niet tot de hoogste drogestofopbrengst. In alle jaren is er een maximale drogestofopbrengst bereikt bij het object 'bodembelasting 4,5 ton'. Bij toenemen van de belasting vanaf 4,5 ton was er bij elke belastingstrap een significant lagere opbrengst. De opbrengstreductie van gras door een sub-optimale bodemconditie bleek niet aantoonbaar door het niveau van de stikstofgift te worden beïnvloed.

Wat de samenstelling van het gras betreft is gebleken dat de energiewaarde toenam naarmate de bodembelasting toenam. Het gehalte ruw as en ruw eiwit namen beide af bij toenemende bodembelasting.

Op de bodemconditie die in deze proef tot maximale drogestofopbrengst leidde (bodembelasting 4,5 ton), bedroeg de kritieke bandspanning voor een brede band (80 cm) 1 bar en voor een smalle band (40 cm) 1,5 bar. Om deze bodemconditie duurzaam in stand te houden mogen de bandspanningen van trekkers, wagens en werktuigen deze waarden niet overschrijden.

5.2 Steun/verwerping hypothesen

Bij aanvang van het onderzoek is van onderstaande hypothesen uitgegaan (paragraaf 1.4).

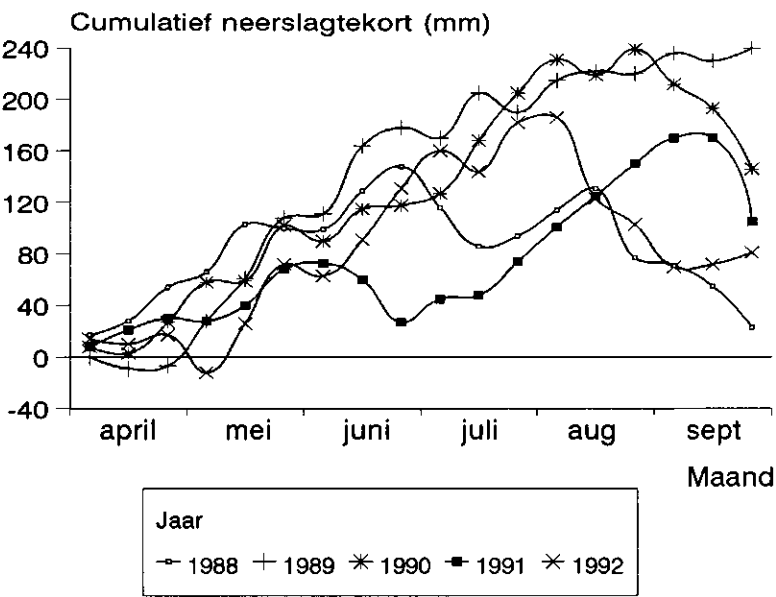
- hypothese 1: bij herhaald rijden over grasland op zandgrond ontstaat uiteindelijk een evenwicht tussen de bodembelasting en de draagkracht van die bodem (bodemconditie).
- hypothese 2: een toename van de bodembelasting leidt tot een hogere bodemdichtheid (bij de evenwichtssituatie) en heeft een afname van de drogestofopbrengst tot gevolg.

- hypothese 3: opbrengstverliezen door sub-optimale bodemcondities zijn, uitgedrukt in kg drogestof per hectare, groter naarmate de stikstofgift lager is.

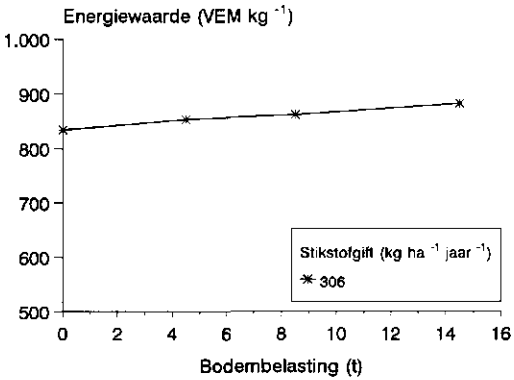
De hypothesen 1 en 2 worden door de meetresultaten in deze proef ondersteund. Bij hypothese 2 moet worden opgemerkt dat de afname van de drogestofopbrengst alleen geldt voor bij grasproductie relevante bodembelastingen (4,5 ton en hoger). Bij een uiterst losse conditie (bodembelasting 0 ton) van de grond werd niet de hoogste opbrengst behaald.

Hypothese 3 werd door de resultaten in deze proef niet ondersteund. Globaal gezien werd, als gevolg van een sub-optimale bodemconditie, bij elke stikstoftrap evenveel drogestof verloren.

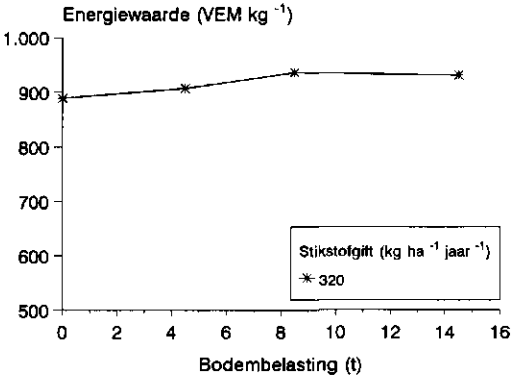
Bijlage B: Cumulatief neerslagtekort op de proeflocatie gedurende de proefjaren (in het groeiseizoen)



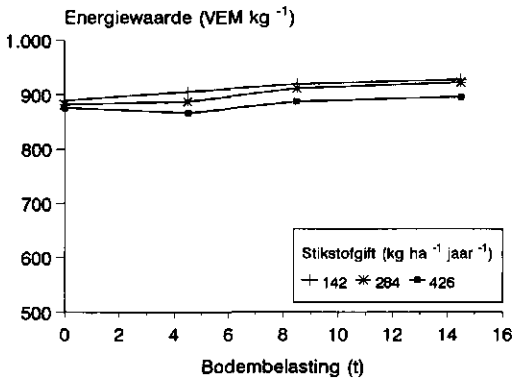
Bijlage C: Energiewaarde van het gras afhankelijk van bodembelasting en stikstofgift



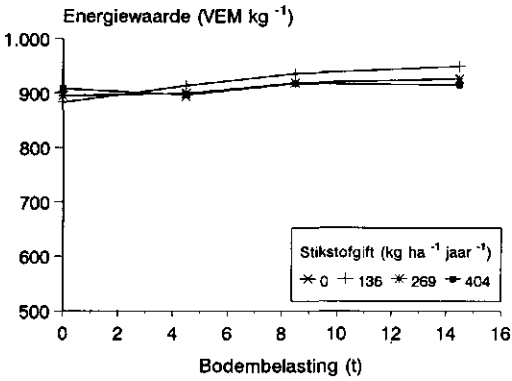
Jaar 1988



Jaar 1989

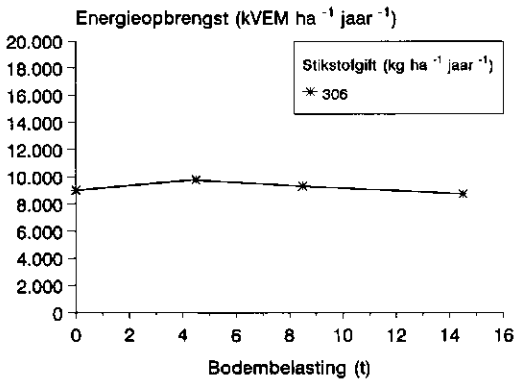


Jaar 1990

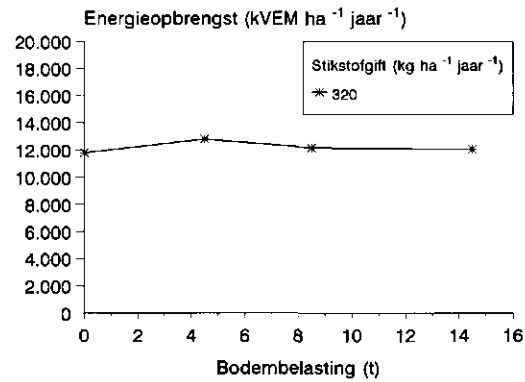


Jaar 1991

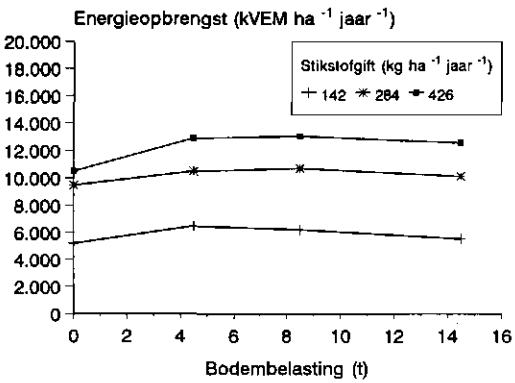
Bijlage F: Energieopbrengst (kVEM) afhankelijk van bodembelasting en stikstofgift



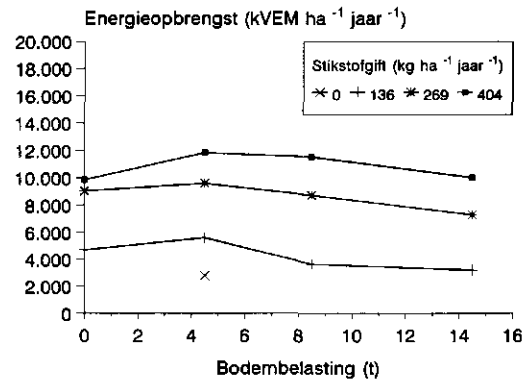
Jaar 1988



Jaar 1989

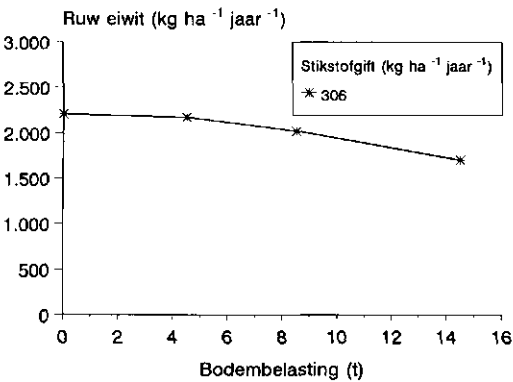


Jaar 1990

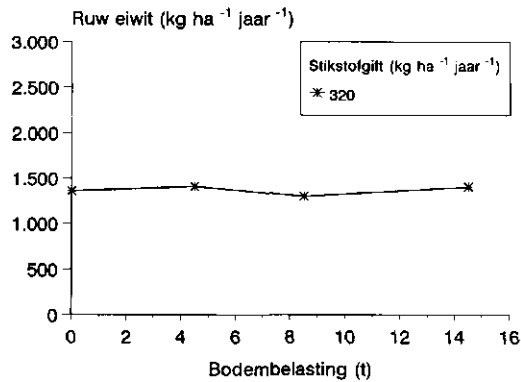


Jaar 1991

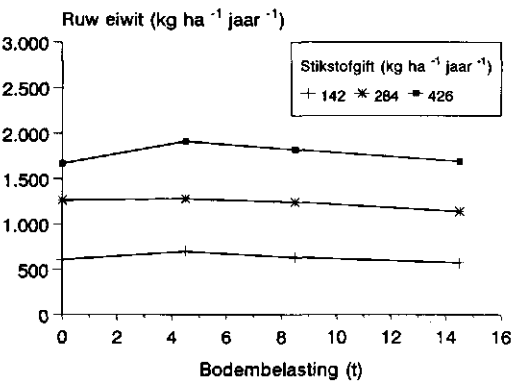
Bijlage G: Opbrengst ruw eiwit afhankelijk van bodembelasting en stikstofgift



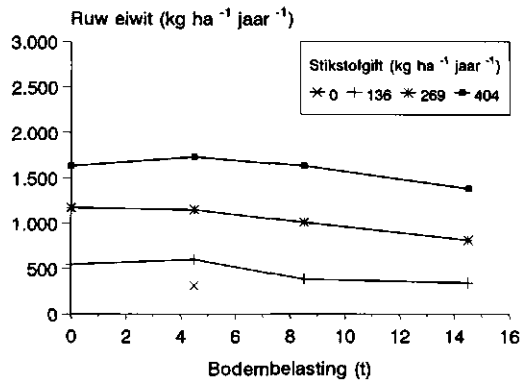
Jaar 1988



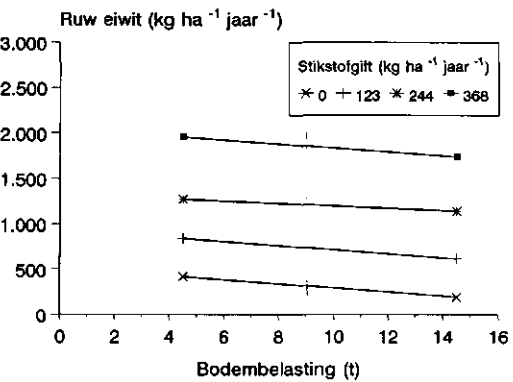
Jaar 1989



Jaar 1990



Jaar 1991

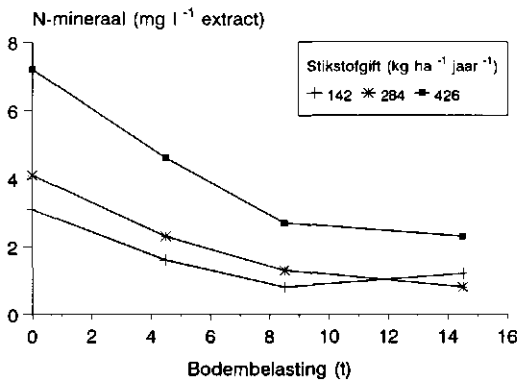


Jaar 1992

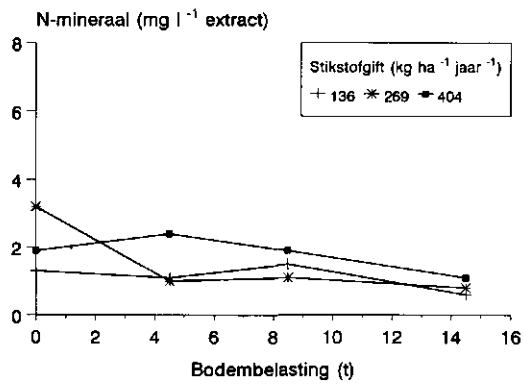
Bijlage H: Botanische samenstelling van de grasmatten voor de vier belastingsobjecten op 17-04-1991 (% van de bedekte oppervlakte)

	bodembelastingsobject			
	0 ton	4,5 ton	8,5 ton	14,5 ton
goede grassen				
engels raaigras	80	93	96	96
ruw beemdgras	+	–	–	–
timothee	5	2	2	3
witte klaver	+	–	+	+
matige grassen				
kweek	+	+	+	+
kropaar	–	+	+	–
slechte grassen				
straatgras	+	–	+	+
kruiden				
vogelmuur	+	+	–	+
paardebloem	4	2	1	1
smalle weegbree	+	+	–	+
kleine veldkers	11	3	1	+

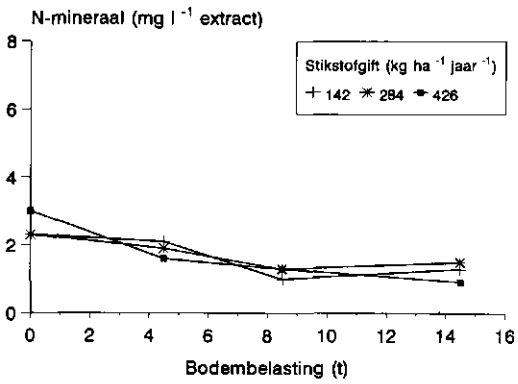
Bijlage I: N-mineraal afhankelijk van bodembelasting en stikstofgift, bepaald voor en na het groeiseizoen



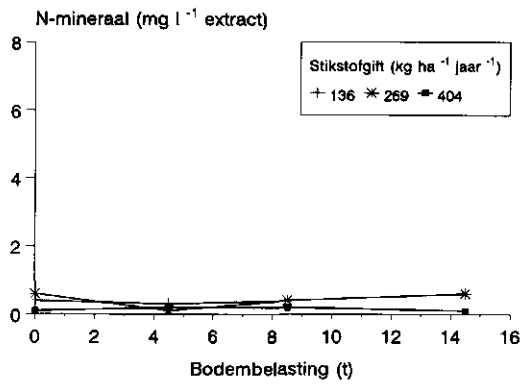
Laag 0-5 cm -mv, 27-02-1991



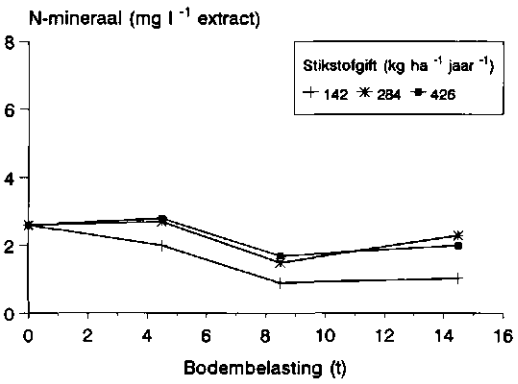
Laag 0-5 cm -mv, 26-11-1991



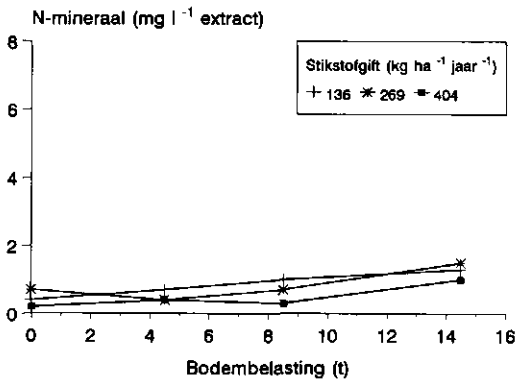
Laag 15-20 cm -mv, 27-02-1991



Laag 15-20 cm -mv, 26-11-1991



Laag 30-35 cm -mv, 27-02-1991



Laag 30-35 cm -mv, 26-11-1991

Verschenen rapporten

- 93-1 Huis in 't Veld, J.W.H., Kroodsmā, W. en S. van Westreenen. – Vermindering ammoniakemissie uit een ligboxenstal door spoelen van de roosters.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 16 pp., f 25,00
- 93-2 Elzing, A. en D. Swierstra. – Ammoniakemissiemetingen in een modelsysteem van een varkensstal; de invloed van vloerbevuilding en het vloertype.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 24 pp., f 25,00
- 93-3 Elzing, A. en W. Kroodsmā. – De relatie tussen ammoniakemissie en stikstofconcentratie in de urine van melkvee.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 22 pp., f 25,00
- 93-5 Dieën, J.H. van. – Functional load of the low back.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 150 pp., f 40,00
- 93-6 Boer, W.J. de. – Box Jenkins tijdreeksanalyse, toegepast op de resultaten van ammoniakemissiemetingen in een rundveestal.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 32 pp., f 30,00
- 93-7 Hoeksma, P., Scholtens, R. en A.J. van den Berg. – Een milieuvriendelijk bedrijfs-systeem voor de varkenshouderij.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 26 pp., f 30,00
- 93-8 Smits, M.C.J., Kroodsmā, W., Swierstra, D. en W.J. de Boer. – Opzet van het onderzoek inzake beperking van de ammoniakemissie in de Milieu-onderzoekstal voor rundvee.
Wageningen, IMAG-DLO-rapport, 32 pp., f 35,00
- 93-9 Drost, H. en D. van der Drift. – Vergelijkend arbeidshygiënisch onderzoek in twee huisvestingssystemen voor leghennen. Onderzoek naar omgevingscomponenten en ODTS-symptomen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 54 pp., f 40,00
- 93-10 Uenk, G.H., Demmers, T.G.M. en M.G. Hissink. – Luchtsamenstelling onder de overkapping van mestilo's vóór en na het mixen van de mest.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 22 pp., f 25,00
- 93-11 Aarnink, A.J.A., Houwers, H.W.J., Ouwerkerk, E.N.J. van en P.B. Hangelbroek. – Vooronderzoek naar een milieu- en welzijnsvriendelijk huisvestingssysteem voor vleesvarkens. Mestscheiding, vloerkoeling en grote groepen dieren.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 41 pp., f 40,00
- 93-12 Kasper, G.J. – Literatuuronderzoek naar het droogproces van gemaaid gras en de invloed van technische factoren hierop.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 34 pp., f 30,00
- 93-13 Vollebregt, H.J.M. en T. de Jong. – Experimenteel onderzoek aan indirecte verdampingskoeling.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 56 pp., f 35,00
- 93-14 Hendrix, A.T.M. – Taaktijden voor de groenteteelt onder glas.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 95 pp., f 40,00
- 93-15 Loeffen, H. – CO₂-produktiesnelheid als maat voor groei van de champignon *Agaricus bisporus*.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 75 pp., f 35,00

- 93-16 Swierstra, D. en M.J.M. van den Elzen. – Verhardingen voor containerteelt buiten: technische eisen en ontwerpvarianten.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 61 pp., f 35,00
- 93-17 Frénay, J. W., Waltje, H. en H. Zilverberg. – Duurzaamheid van beton in agrarische milieu.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 108 pp., f 50,00
- 93-18 Ketelaar-de Lauwere, C.C., Benders, E. en P.J.M. Huijsmans. – De reactie van koeien als de krachtvoerstrekking in de stal afhankelijk wordt gesteld van die in de AMS-ruimte. De invloed van verschillende stalindelingen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 19 pp., f 35,00
- 93-20 Jong, T., et al. – Ontwerp van klimaatbeheersingsapparatuur voor gesloten kassystemen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 24 pp., f 35,00
- 93-21 Dingemans, E.C.F.M., Buré, R.G. en G. van Putten. – De invloed van opfokomstandigheden op het sociale gedrag van zeugen in groepen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 81 pp., f 35,00
- 93-22 Smits, M.C.J., Ooster, A. van 't en E.N.J. van Ouwkerk. – Beperking van de warmtebelasting in een ligboxenstal voor melkvee. Een oriënterend onderzoek.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 36 pp., f 30,00
- 93-23 Hoeksma, P., Oosthoek, J., Verdoes, N. en J.A.M. Voermans. – Reductie van ammoniakemissie uit varkensstallen door mestspoelen met beluchte spoelvloeistof.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 56 pp., f 40,00
- 93-24 Waaijenberg, D. en J.W. Frénay. – Kunststofkas met tuiconstructie: ontwerp, uitvoering en toetsing van een prototype.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 43 pp., f 40,00
- 93-25 Drost, H. en D.W. van der Drift. – Aerial contaminants in aviary and battery housing systems for laying hens.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 28 pp., f 30,00
- 93-26 Os, E.A. van, Klomp, G. en N.J. van de Braak. – Onderzoek geïntegreerde wateropslag met biologische reiniging van recirculatiewater en energie-opslag.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 34 pp., f 35,00
- 93-27 Uenk, G.H., Monteny, G.J., Demmers, T.G.M. en M.G. Hissink. – Vermindering ammoniakemissie door gebruik van biowassers.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 37 pp., f 30,00
- 93-28 Uenk, G.H., Monteny, G.J., Demmers, T.G.M. en M.G. Hissink. – Vermindering van ammoniakemissie door gebruik van biofilters.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 37 pp., f 40,00
- 93-29 Zuydam, R.P. van and C. Sonneveld. – Test of an automatic precision guidance system for implements for row crumbling, row fertilizing, row spraying, drilling and hoeing and its effect on weed development and fertilizer use in sugar beet.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 27 pp., f 35,00
- 93-30 Hendriks, J.G.L., Mulder, E.M. en J.F.M. Huijsmans. – Aanzuren van rundermest, kort voor het uitrijden.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 40 pp., f 30,00
- 93-31 Smits, M.C.J., Valk, H., Elzing, A., Huis in 't Veld, J.W.H. en A. Keen. – Perspectief van beperking van de ammoniakemissie uit melkveestallen door aanpassing van het rantsoen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 36 pp., f 35,00

- 93-32 Os, E.A. van, Kramer, C.F.G., Kruistum, G. van, Looijesteijn, F.X.C. en H.H.E. Oude Vrieling. – Mens- en milieuvriendelijke treksystemen voor witlof: een verkenning van mogelijkheden.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 72 pp. f 40,00
- 93-33 Swierstra, D. – Verhardingen van gestabiliseerde kleigrond met asfaltdeklagen: ontwerp, uitvoering en beproeving.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 37 pp. f 30,00
- 93-34 Derikx, P.J.L., Vijn, T.K. en H.C. Willers. – Oriënterend onderzoek naar de integrale inpassing van aanzuren van varkensmest.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 41 pp. f 40,00
- 93-35 Hoeksma, P. en A.J. van den Berg. – Geur- en ammoniakemissie tijdens het indampen van mest bij de HEPAQ-milieustal.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 27 pp. f 30,00
- 93-36 Hendrix, A.T.M. – Taaktijden voor de snijbloementeel onder glas.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 59 pp. f 35,00
- 94-1 Bleijenberg, R. en J.P.M. Ploegaert – Handleiding voor de IMAG-DLO meetmethode ter bepaling van ammoniakemissies uit mechanisch geventileerde stallen : (apparatuur, installatie en gegevensverwerking) .
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 77 pp. f 40,00
- 94-2 Hendriks, J.G.L. en J.F.M. Huijsmans. – Trekkkrachtbehoefte van sleepvoeten- en zodebemestertechnieken op grasland.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 45 pp. f 35,00

De rapporten kunt u **schriftelijk** bestellen door overmaking van het genoemde bedrag op Postbanknummer 3514771 ten name van IMAG-DLO te Wageningen, onder vermelding van het rapportnummer.

Reports must be ordered by transferring the appropriate amount (in Dutch Guilders) to the IMAG-DLO account, no. 3514771, at the Postbank, Wageningen, quoting the relevant report number(s)