



Bodemstructureffecten bij de teelt van consumptieaardappelen op kleigrond na mesttoediening in het voorjaar

J.F.M. Huijsmans, G.D. Vermeulen & B.R. Verwijs





Bodemstructureffecten bij de teelt van consumptieaardappelen op kleigrond na mesttoediening in het voorjaar

J.F.M. Huijsmans, G.D. Vermeulen & B.R. Verwijs

© 2014 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Plant Research International. 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 enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Plant Research International, Agrosysteemkunde.

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR Business Unit Agrosysteemkunde

Adres : Postbus 616, 6700 AP Wageningen
: Wageningen Campus, Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
Tel. : 0317 – 48 06 85
Fax : 0317 – 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Voorwoord	1
Samenvatting	3
Abstract	5
1. Inleiding	7
2. Materiaal en methode	9
2.1 Algemene opzet	9
2.2 Locaties en bodemkenmerken	10
2.3 Uitvoering van het onderzoek	11
2.3.1 Voorbewerken van de grond	11
2.3.2 Toediening van mest	11
2.3.3 Selectie van ruggen met en zonder onderliggend bemesterspoor	14
2.4 Waarnemingen	14
2.4.1 Bodemwaarnemingen	14
2.4.2 Gewaswaarnemingen	17
2.5 Statistische analyse	18
3. Resultaten	19
3.1 Kwaliteit van de ruggen	19
3.2 Kwaliteit van de grond onder de rug	19
3.3 Opbrengst en sortering van de aardappelen	23
4. Discussie	27
5. Conclusies	29
Literatuur	31
Bijlage I. Lay-out van de proeven	2 pp
Bijlage II. Bewerkings- en waarnemingsdata	1 pp
Bijlage III. Wijze van voorbewerken	1 pp
Bijlage IV. Bodemdruk karakteristieken van gebruikte zodenbemesters met sleepslangaanvoer	1 pp
Bijlage V. Bodemdruk karakteristieken van gebruikte zodenbemester met mesthaspelwagen	1 pp
Bijlage VI. Wijze van poten en aanfrezen	1 pp
Bijlage VII. Indringweerstandprofielen onder de ruggen	4 pp

Voorwoord

De toediening van dierlijke mest op kleigrond geeft een relatief hoge bodembelasting in het voorjaar. Dit leidt tot vragen rondom effecten op de bodemstructuur en daaruit volgende effecten op de gewasopbrengst. Tegen deze achtergrond is in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken door Wageningen-UR onderzocht in welke mate bodemstructuurschade optreedt en hoe eventuele structuurschade voorkomen kan worden bij mesttoediening in het voorjaar op kleibouwwand. Het onderzoek vond plaats binnen het onderzoeksprogramma Duurzame Bodem. Het onderzoek kon worden uitgevoerd door medewerking van werktuigfabrikanten, loonwerkers en telers. Voor de begeleiding van dit onderzoek werd een groep gevormd bestaande uit vertegenwoordigers van mesthandel en loonwerksector (CUMELA Nederland) en fabrikanten van mesttoedieningsapparatuur (Fedecom). Hierbij willen wij de loonwerkers J. van Leijsen en J. Laurijsse en het akkerbouwbedrijf Maatschap Brooijmans te Tholen bedanken voor hun medewerking en grote inzet om dit onderzoek mogelijk te maken.

Samenvatting

Om bodemstructuurschade in het voorjaar te vermijden zijn de principes van berijding met lage bodemdruk en vaste rijpaden in het verleden opgepakt. De toediening van dierlijke mest op kleigrond geeft een relatief hoge bodembelasting in het voorjaar. Dit leidt tot vragen rondom effecten op de bodemstructuur en daaruit volgende effecten op de gewasopbrengst. Om hier beter inzicht in te krijgen is onderzoek uitgevoerd met de doelstelling om via co-innovatie met de praktijk duurzame oplossingen te creëren ter voorkoming van bodemverdichting en structuurschade bij de mesttoediening in het voorjaar in de aardappelteelt op kleigrond. Tegen deze achtergrond is in samenwerking met werktuigfabrikanten, loonwerkers en telers, onderzocht in welke mate bodemstructuurschade optreedt en hoe eventuele structuurschade voorkomen kan worden.

Het onderzoek werd uitgevoerd binnen het teeltsysteem en de teeltrotatie van de aardappelpercelen op een akkerbouwbedrijf in de opeenvolgende jaren 2010 tot en met 2013. Voor de mesttoediening werden uitsluitend bodemvriendelijke methoden gebruikt: bemesting met aanvoer van mest via een sleepslang en aanvoer via een slang op een meegevoerde afrol-oprol haspel op een wagen. In het onderzoek is de toepassing van een bemester achter een relatief zware mesttank dus niet opgenomen, omdat op voorhand daarmee de gewenste lage bodembelastingen in de praktijk niet gehaald kunnen worden. Voorbewerken van de grond werd meegenomen in het onderzoek, omdat op voorbewerkte grond in potentie met lichtere zodenbemesters de mesttoediening kan plaatsvinden. De behandelingen hadden betrekking op het wel of niet voorbewerken van de grond (mest toedienen direct over de ploegsmeden en na een voorbewerking met een zaaibedcombinatie of een rotorkoepel) en op het berijden van de grond (in en buiten de wielsporen). De mogelijke schade-effecten als gevolg van de spoorvorming door de mesttoedieningsapparatuur en als gevolg van het voorbewerken van de grond werden beoordeeld door vergelijking van de bodemstructuur en de gewasopbrengsten van aardappelruggen die de verschillende behandelingen hadden gekregen. De bodemeffecten werden beoordeeld op basis van metingen aan de kwaliteit van de ruggen en de kwaliteit van de grond onder de ruggen (indringweerstand, dichtheid en luchtgehalte). De gewaseffecten werden beoordeeld op basis van de aardappelopbrengsten en sortering.

Met het vierjarig onderzoek wordt aangetoond dat ook bij toepassing van bodemvriendelijke bemesters met lage bodemdrukken ($< 0,9$ bar banddruk) verdichting onder de later gemaakte de ruggen voor de teelt van aardappels plaats vindt. Gemiddeld over de vier jaren van het experiment leidde dit tot een 2,9% lagere vermarktbare aardappelopbrengst (> 40 mm) in de sporen, vergeleken met de opbrengst buiten de sporen. Afhankelijk van de toegepaste methode (sleepslang of haspelwagen) leidt dit bij de gebruikte bodemvriendelijke bemesters met een werkbreedte van 12 m tot een opbrengstderving op perceelsniveau van 0,5 - 0,9%.

Door het voorbewerken van de grond kan worden voorkomen dat de mest bij gebruik van een relatief lichte zodenbemester op harde, geploegde kleigrond niet netjes in sleufjes weggelegd wordt, wat verhogend kan werken op de ammoniakemissie. De gemeten toename van de bodemdichtheid door het berijden tijdens het voorbewerken was kleiner dan de verdichting door de bemesterwielen en kon niet statistisch significant aangetoond worden. Toch leidde voorbewerken gemiddeld tot een 3,1% lagere vermarktbare opbrengst vergeleken met niet voorbewerken. De combinatie van voorbewerken van de grond én berijden met de bemester leidde op perceelsniveau tot een opbrengstderving van 4,1 – 4,4% ten opzichte van een veld dat niet is voorbewerkt en geen bemestersporen heeft.

Abstract

Manure application in early spring may cause soil structure damage and subsequent yield losses, when growing potatoes on clay soils. These effects were investigated in a 4-year field trial at an arable farm. In spring time, just before potato seeding, manure was applied with potentially soil friendly methods, using umbilical manure supply systems and low ground pressures (inflation pressure < 0.9 bar), on autumn ploughed soil. The shallow injection application technique (open slots) was applied both directly over the plough furrows and on soil that received additional shallow cultivation shortly before manure application. The results show that the wheels of the manure applicator affected the soil structure resulting in a potato yield reduction of 2.9% in potato ridges with underlying wheel tracks compared to the yield in the area outside the wheel tracks. This track effect, translates to a yield reduction of 0.5 - 0.9% at field scale depending of the method of manure application, for a manure applicator with a working width of 12 m.

The shallow soil cultivation before manure application had no significant effect on the structure of the soil under the potato ridges. Nevertheless, the shallow cultivation led to an average decrease in yield of 3.1% compared to no cultivation. The combination of pre-cultivation and wheel tracks of the manure applicator caused a decrease in potato yield at field scale of 4.1 – 4.4%, compared to a field without pre-cultivation and wheel tracks.

1. Inleiding

Om bodemstructuurschade in het voorjaar te vermijden zijn de principes van berijding met lage bodemdruk en vaste rijpaden in het verleden opgepakt voor de relatief lichte machines voor voorjaarswerkzaamheden. De toediening van dierlijke mest op kleigrond geeft een relatief hoge bodembelasting in het voorjaar. De praktijk ervaart dit als een probleem, omdat het leidt tot bodemstructuurschade en dientengevolge o.a. opbrengstderving en verlies van productkwaliteit. Voor een duurzaam bodembeheer dient deze vorm van bodemverdichting en structuurbederf in het voorjaar voorkomen te worden, zodat een efficiënt water-, meststoffen- en organischestofbeheer mogelijk blijft en geen (blijvende) bodem- en opbrengstschade ontstaat.

Voor de graanteelt heeft het onderzoek in de afgelopen jaren geresulteerd in goede systemen, waarbij structuurschade en opbrengstderving aantoonbaar vermeden werden als methoden toegepast werden die een lage bodembelasting bij de mesttoediening mogelijk maakten (Huijsmans *et al.*, 2012). Omdat aardappelen en ook andere gewassen gevoeliger voor structuurbederf zijn dan wintertarwe blijft de vrees dat zware belastingen in het voorjaar op kleigrond leiden tot structuurbederf, slechte rugopbouw, slechte beworteling van de basis van de rug, kluitvorming en tarraoverlast bij de oogst, bewaarproblemen, opbrengstschade en kwaliteitsproblemen in de keten.

Bodemstructuurschade wordt verwacht als de apparatuur die voorheen vóór het ploegen in het najaar gebruikt werd nu op de losse, geploegde grond in het voorjaar wordt toegepast, vooral in de nattere jaren. Eventuele schade aan kleigrond door berijden kon bij najaarstoediening van mest worden gerepareerd door de hoofdgrondbewerking en de daaropvolgende verwerking van de grond in de winter. Een dergelijke reparatie kan op kleibouwland in het voorjaar niet meer uitgevoerd worden. Ook logistiek worden problemen verwacht; bij voorjaarstoediening moet de mest beschikbaar zijn en toegediend en ondergewerkt worden binnen het tijdbestek dat het land goed berijdbaar en bewerkbaar is. Problemen bij de mesttoediening zouden daardoor kunnen leiden tot vertragingen bij zaaien en poten. Bij de mesttoediening in het voorjaar moet bovendien ook rekening gehouden worden met de verplichting tot inwerken van de mest om zo ammoniakemissie te voorkomen. Tot inwerken wordt ook gerekend het toedienen van de mest in sleufjes in de grond met een zodenbemester.

De voorjaarstoediening van mest op kleibouwland leidt dus tot veel vragen rondom effecten op de bodemstructuur en daaruit volgende effecten op de gewasopbrengst. Om hier beter inzicht in te krijgen is onderzoek uitgevoerd met de doelstelling om via co-innovatie met de praktijk duurzame oplossingen te creëren ter voorkoming van bodemverdichting en structuurschade bij bewerkingen met een relatief zware bodembelasting in het voorjaar in de aardappelteelt op kleigrond. Via veldonderzoek dient daarbij aangetoond en onderbouwd te worden of schade-effecten aan bodem en gewas te voorkomen zijn bij gebruik van goede methoden.

De uitdaging binnen het uitgevoerde onderzoek was om aan te tonen dat in de aardappelteelt bodemstructuurschade en opbrengstderving door innovatieve bewerkingen met lage bodembelasting beperkt kunnen worden en dat eventuele schade onderbouwd wordt.

Tegen deze achtergrond is in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken door Wageningen-UR, in samenwerking met werktuigfabrikanten, loonwerkers en telers, onderzocht in welke mate bodemstructuurschade optreedt en hoe eventuele structuurschade voorkomen kan worden bij mesttoediening in het voorjaar op kleibouwland. Voor de begeleiding en uitvoering van dit onderzoek werd een groep gevormd bestaande uit vertegenwoordigers van fabrikanten van mesttoedieningsapparatuur (Fedecom), mesthandel en loonwerksector (CUMELA Nederland) en telers. Het onderzoek werd uitgevoerd binnen het teelsysteem en de teeltrotatie in de opeenvolgende jaren 2010 tot en met 2013 op een akkerbouwbedrijf.

2. Materiaal en methode

2.1 Algemene opzet

Het onderzoek naar de schade-effecten bij mesttoediening op kleibouwland in het voorjaar in aardappelen is uitgevoerd in de periode 2010 - 2013 door middel van veldproeven op het akkerbouwbedrijf van Maatschap Brooijmans te Tholen. Het onderzoek volgde de teeltrotatie zoals die op het bedrijf wordt toegepast. Daarbij werd steeds gebruik gemaakt van een aardappelperceel binnen een aaneengesloten blok percelen met aardappelen in de teeltrotatie. Op deze wijze konden de proeven binnen één bedrijfssysteem steeds op een vergelijkbare grondsoort uitgevoerd worden en volgde daarmee de aardappelpercelen in de opeenvolgende jaren. De percelen lagen aaneengesloten op een deel van het bedrijf met relatief zware kleigrond. De mesttoediening met bodemvriendelijke apparatuur werd uitgevoerd door de bedrijven J. van Leijsen, leverancier van mest en loonwerker voor de mesttoediening te Poortvliet, en J. Laurijsse, fouragehandel en intermediair voor de mesttoediening in loonwerk te De Heen.

In de proeven werd steeds ca. 30 m³/ha varkensmest toegediend. De aanvullende N-P-K bemesting werd elk jaar door het praktijkbedrijf uitgevoerd. Het geteelde aardappelras was Melody.

Bij de experimenten werd de mest emissiearm en met in potentie bodemvriendelijke apparatuur toegediend vóór het poten van de aardappelen (zie par. 2.3). Als emissiearme toedienmethode werd een zodenbemester gebruikt, waarmee de mest in sleufjes wordt toegediend. Bij de toediening van mest over de ploegsneden kan het op kleibouwland voorkomen dat de grond slecht verweerd is en dat de ploegsneden nog hard zijn. De ervaring leert dat in die situatie de lichtere typen zodenbemers de mest vaak niet netjes in een sleufje in de grond brengen. Ongetwijfeld zal dit leiden tot hogere ammoniakemissie dan normaal voor een zodenbemester. Met een zwaarder uitgevoerde zodenbemester kan de mest zelfs op relatief harde ploegsneden netjes in sleufjes in de grond gebracht worden. Zware werktuigen zijn echter minder gewenst als het om de belasting van de bodem gaat. Bij oriënterend onderzoek in 2009 werd vastgesteld dat het voorbereiden van de grond een werkbare methode was om ook met lichter uitgevoerde zodenbemers de mest netjes in sleufjes in de grond te brengen. Naar aanleiding daarvan werd het voorbereiden van de grond (par. 2.3.1) als behandeling in het onderzoek meegenomen om de effecten daarvan op de bodem en op de opbrengst van het gewas te onderzoeken.

Voor de mesttoediening werden uitsluitend bodemvriendelijke methoden gebruikt, te weten bemesting met aanvoer van mest via een sleepslang en aanvoer via een slang op een meegevoerde haspelwagen (par. 2.3.2). In het onderzoek is de toepassing van een relatief zware mesttank dus niet opgenomen, omdat op voorhand daarmee de potentieel lage bodembelastingen niet gehaald kunnen worden. Door deze keuzen werden de beste voorwaarden geschapen om zo mogelijk te demonstreren dat mesttoediening voorafgaand aan het poten van aardappelen in het voorjaar haalbaar is zonder schade aan het gewas.

De behandelingen hadden betrekking op het voorbereiden van de grond (mest toedienen direct over de ploegsneden en na een voorbereiding met een zaaibedcombinatie of een rotorkoepel) en op het berijden van de grond (in en buiten de wielsporen van de bemester). De verschillende behandelingen bij de bemesting worden in dit rapport als volgt aangeduid:

- R bemesting direct over de ploegsneden, aardappelrug **zonder** onderliggend bemesterspoor (referentie R)
- S bemesting direct over de ploegsneden, aardappelrug **met** onderliggend bemesterspoor (spoor S)
- V bemesting in voorbereide grond, aardappelrug **zonder** onderliggend bemesterspoor (voorbewerkt V)
- VS bemesting in voorbereide grond, aardappelrug **met** onderliggend bemesterspoor (voorbewerkt en spoor VS)

Elk jaar werd het onderzoek uitgevoerd via blokkenproeven met 4 herhalingen. Binnen het perceel werd een brede strook voorbereid. Het proefveld werd zo ingericht dat de voorbereide en niet voorbereide veldjes binnen een herhaling dicht bij elkaar gelegen waren, zodat de onderlinge vergelijking als statistisch verantwoord beschouwd kon

worden ondanks het feit dat de behandeling “voorbewerken” niet over de veldjes geward werd. De lay-out van de proeven is schematisch weergegeven in Bijlage I.

In 2010 werd één machine voor de mesttoediening gebruikt (sleepslangaanvoer), waarmee één blokkenproef werd aangelegd. Vanaf 2011 werd een tweede potentieel bodemvriendelijke methode (slangaanvoer met haspelwagen) in het onderzoek betrokken, niet met het doel om de methoden onderling te vergelijken, maar om het onderzoek te verbreden. Statistisch gezien werden door de proeven met twee machines twee blokkenproeven per jaar aangelegd om de effecten van voorbewerken van de grond en berijden met lage bodemdruk bij de bemesting te onderzoeken. In de gekozen proefopzet is een analyse van verschil in effecten van de toedieningsmethoden dan ook niet mogelijk.

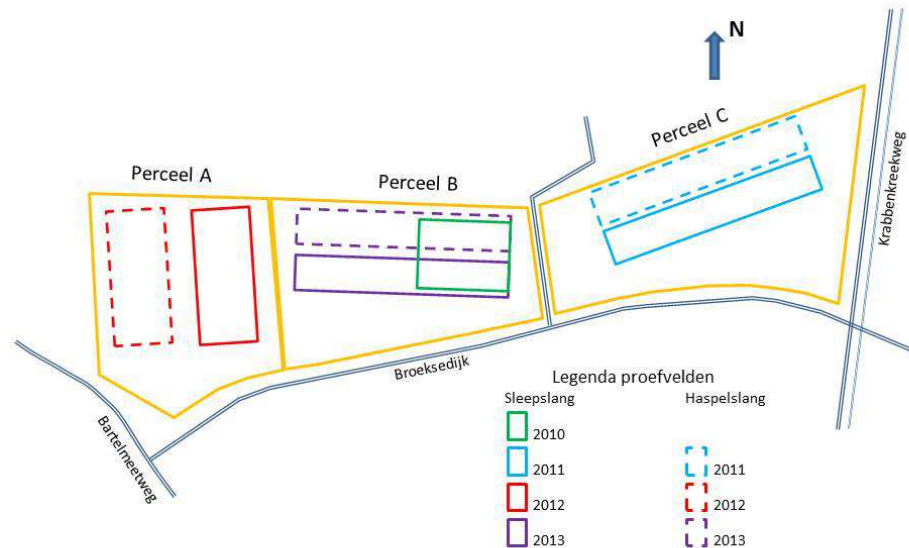
Na de bemesting werd het poten en aanfrezen van de aardappels en de gewasbescherming uitgevoerd zoals gebruikelijk op het bedrijf (Bijlage VI). De aardappelruggen direct naast de spuitsporen zijn uitgesloten voor het onderzoek. Voor het onderzoek werden aardappelruggen gekozen die precies op een bemesterspoor en ruim buiten een bemesterspoor lagen (paragraaf 2.3.3).

De mogelijke schade-effecten als gevolg van de spoorvorming door de mesttoedieningsapparatuur en als gevolg van het voorbewerken van de grond werden steeds beoordeeld door vergelijking van de bodemstructuur en de gewasopbrengsten van aardappelruggen die de verschillende behandelingen hadden gekregen. Elk waarnemingsveld in de proeven bestond uit twee dicht bij elkaar en in dezelfde rug gelegen subveldjes voor de bodemwaarnemingen en voor de opbrengst- en kwaliteitsbepaling (Bijlage I). De gebruikte methoden voor karakterisering van de bodemstructuur zijn beschreven in paragraaf 2.4.1 en de wijze van bepaling van de opbrengst en kwaliteit van de aardappelen in paragraaf 2.4.2.

Een overzicht van de data waarop de mest werd toegediend, de grond werd bemonsterd, de proefvelden werden gerooid en de aardappels werden gesorteerd en gewogen is weergegeven in Bijlage II.

2.2 Locaties en bodemkenmerken

De experimenten werden over meerdere jaren bij dezelfde teler uitgevoerd. Daarbij werd steeds gebruik gemaakt van een aardappelperceel binnen een aaneengesloten blok percelen met aardappelen in de teeltrotatie (Figuur 1). Op deze wijze konden de proeven binnen één bedrijfssysteem steeds op een vergelijkbare grondsoort uitgevoerd worden, waardoor de oorzaken voor de te verwachten jaarlijkse variatie van het opbrengsteffect grotendeels beperkt konden worden tot de invloed van de bodemomstandigheden tijdens de bewerkingen en de weersomstandigheden in het seizoen. In alle jaren was de bovengrond droog tijdens de mesttoediening. Zoals gewoonlijk in de voorjaarssituatie was de grond onderin de bouwvoor natter. Afgaand op spoorvorming was de grond onderin de bouwvoor in 2012 en 2013 wat natter dan in 2010 en 2011. Het kleigehalte van de grond had een lutumgehalte in de range van 26 tot 33%, met een zwaarteverloop van het zwaarst aan de zuidelijke kant naar het lichtst aan de noordelijke kant van het perceel. Het organische stofgehalte was 4,1%, de pH 7,3 en het CaCO_3 gehalte 3,6%.



Figuur 1. Percelen met de daarop uitgezette proefvelden van 2010 t/m 2013.

2.3 Uitvoering van het onderzoek

2.3.1 Voorbewerken van de grond

Het effect van voorbewerken werd in het onderzoek meegenomen om ook perspectief aan te kunnen geven voor relatief lichtere mesttoedieningsapparatuur. Ook bij het voorbewerken van de grond kan schade aan de bodemstructuur ontstaan. Om dit zoveel mogelijk te voorkomen werd in het onderzoek de voorbewerking uitgevoerd met relatief lichte apparatuur en lage bodemdruk. De voorbewerking werd van 2010 t/m 2012 uitgevoerd met een zaaibedcombinatie, deels gemonteerd in de frontheinrichting van een trekker en deels in de driepuntheinrichting achter (Bijlage III). In 2013 is voor het voorbewerken een combinatie gebruikt met een bandenpakker in de frontheinrichting en een rotorkoepel in de driepuntheinrichting achter van een trekker. Met deze relatief lichte combinaties kon door toepassing van brede banden met een lage bandspanning van 70 kPa gereden worden.

2.3.2 Toediening van mest

Zodenbemester met sleepslangaanvoer

Bij de zodenbemester met sleepslangaanvoer wordt de mest via een slang verpompt vanaf de rand van het veld naar een 12 m brede zodenbemester in de driepuntheinrichting van een trekker. De aanvoerslang wordt door de trekker met bemester meegesleept over het veld. Deze techniek staat als bodemvriendelijk bekend, omdat er geen een 'zware' mesttank in het veld meegenomen hoeft te worden. Hierdoor is lage luchtdruk in de banden van de trekker mogelijk en ontbreken de belastende banden van de tank. In de meeste jaren werd een bemester gebruikt met geleiderail voor de slang (Figuur 2); in 2011 werd een lichtere bemester met trekbus voor geleiding van de slang gebruikt (Figuur 3).

Tijdens het keren van de bemestercombinatie is de bemester geheven en is de last op de achteras van de trekker ca. 11.100 tot 14.400 kg. Volgens de specificaties van de bandenfabrikant is dan in de trekkerachterbanden een banddruk van 100 tot 150 kPa nodig, afhankelijk van de gebruikte trekker, trekkerachterbanden en bemesteruitvoering (Bijlage IV). In het veld, met de bemester in het werk en een achteraslast van de trekker van minder dan 5.700 kg, was een minimale bandspanning van 40 kPa nodig. In de proef werd met een banddruk van niet hoger dan 90 kPa gereden, rekening houdend met het feit dat de tijdsduur van het keren relatief kort is ten opzichte van de tijd waarin de bemester in werkstand over het veld gaat.

Met de gebruikte combinatie van banden en werkbreedte van de machine werd 14% van het bodemoppervlak door de trekker met bemester bereiden; bij een werkbreedte van 16 aardappelruggen kwamen er onder twee van de zestien ruggen de restanten van een spoor te liggen.

Zodenbemester met aanvoer via slang op haspelwagen

Vanaf 2011 werd een tweede techniek in de proeven meegenomen, de zogenoemde zodenbemester met haspelslangaanvoer (Figuur 4). De bodemvriendelijkheid van deze combinatie berust op hetzelfde principe als bij de zodenbemester met sleepslangaanvoer, maar de aanvoerslang wordt hierbij bij het heenrijden op het perceel uitgerold vanaf een haspel en bij het terugrijden weer opgerold. Deze werkwijze voorkomt dat de slang over het veld getrokken wordt en dat soms over de slang heengereden moet worden. Bij het over de slang heen rijden wordt de bemester geheven, waardoor de bemester tijdelijk niet emissiearm werkt. Ook bij deze combinatie was de werkbreedte van de zodenbemester 12 m.

De haspel is gemonteerd op een wagen achter de trekker, die ook uitgerust is met grote banden waarin een lage luchtdruk toegepast werd. Bij de gebruikte combinaties werden banddrukken van 50 tot 70 kPa toegepast (Bijlage V). Volgens opgave van de bandenfabrikanten was dit vooral voor de combinatie die in 2013 gebruikt werd onvoldoende om het gewicht van de haspelwagen met volledig opgerolde volle slang te kunnen dragen. Deze situatie kwam op het veld maar korte tijd voor omdat de slang meestal deels uitgerold was.

De as van de haspelwagen is uitschuifbaar. Daardoor wordt voorkomen dat de trekkerbanden en de banden van de haspelwagen in hetzelfde spoor rijden en daardoor extra verdichting zouden veroorzaken. De consequentie van het gebruik van de uitschuifbare assen is wel dat het percentage bereiden bodemoppervlak groter is (22%; 4 op de 16 ruggen) dan wanneer de assen niet uitgeschoven worden (15%; 2 op de 16 ruggen).



Figuur 2. Zodenbemester met een werkbreedte van 12 m met looprail voor geleiding van het aansluitpunt van de sleepslang tijdens het keren, zoals gebruikt in 2010, 2012 en 2013.



Figuur 3. Zodenbemester met een werkbreedte van 12 m met trekbuïs voor geleiding van het aansluitpunt van de sleepslang tijdens het keren, zoals gebruikt in 2011.



Figuur 4. Zodenbemester, 12 m werkbreedte, gemonteerd achter een wagen met een afrol-oprol haspel, zoals gebruikt in 2011, 2012 en 2013.

2.3.3 Selectie van ruggen met en zonder onderliggend bemesterspoor

Voor het onderzoek moesten aardappelruggen geselecteerd worden die onder het bemesterspoor lagen en ruim buiten het bemesterspoor. Omdat de breedte van de trekkerbanden (80 cm) van de machine met sleepslangaanvoer maar iets groter was dan de breedte van een aardappelrug (75 cm) moest precies gewerkt worden om er zeker van te zijn dat er ruggen op het veld kwamen te liggen die onder de volle rugbreedte (de restanten van) een bemesterspoor hadden liggen. Om hiervoor te zorgen werden, naast rechtrijden door toepassing van RTK-DGPS rechtgeleiding, tijdens de bemesting de bemestersporen met piketten gemarkeerd. Direct na aanleg zijn deze piketten ingemeten met behulp van handgedragen Topcon RTK-DGPS apparatuur (Figuur 5) voor het nauwkeurig vastleggen van de coördinaten van de bemestersporen in het veld. Na het poten en aanfrezen zijn de bemestersporen teruggezocht en zijn voor het onderzoek (secties van) ruggen geselecteerd met en zonder onderliggende bemestersporen.



Figuur 5. Landmeetapparatuur met RTK-DGPS waarmee de bemestersporen werden vastgelegd.

2.4 Waarnemingen

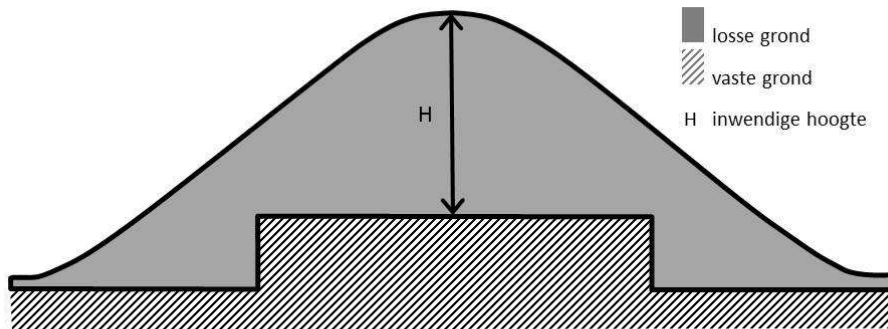
2.4.1 Bodemwaarnemingen

De bodemomstandigheden waaronder de aardappelen moesten groeien werden vastgelegd door metingen spoedig na het aanfrezen van de ruggen. Gekeken werd naar de kwaliteit van de rug en van de grond onder de rug.

Kwaliteit van de ruggen

In alle proeven werden de aardappels geteeld in standaard ruggen op 75 cm. Deze ruggen bestaan uit losgefreesde grond die op een niet-bewerkte basis liggen (Figuur 6). De kwaliteit van de aardappelruggen wordt bepaald door de grootte van de ruggen en door de grootteverdeling van de aggregaten (Kouwenhoven, 1978; Kouwenhoven and Van Ouwkerk, 1978). De ruggrootte wordt meestal uitgedrukt als de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de losse

grond (Figuur 6). Onder Nederlandse omstandigheden, op klei- en zavelgronden, heeft een standaardrug een platte of afgeronde top met een breedte van 18 - 20 cm, schuine kanten van 40 - 45° t.o.v. horizontaal en een ruggrootte van ca. 730 cm² (bruto) (Kouwenhoven *et al.*, 2003), die als optimaal wordt beschouwd voor de teelt van consumptieaardappelen. Optimaal wil zeggen een zo hoog mogelijke gewichtsopbrengst met zo min mogelijke vervormde, groene en te kleine aardappelen.



Figuur 6. Ruggrootte (bruto), gedefinieerd als de oppervlakte van de losse grond in de dwarsdoorsnede van de rug.

Bij alle behandelingen in het onderzoek zijn de aardappelryggen één keer gefreesd na het poten van de aardappelen. Onderzocht is of het berijden met de bemester en het voorbereiden van de grond invloed hebben op de interne hoogte en de grootte van de rug (Figuur 6) die uiteindelijk ontstaat. Hiertoe is de ruggrootte bepaald door vastlegging van de contouren van de bovenkant van de rug en de vaste ondergrond (basis) met behulp van een matrixplaat (Figuur 7). Deze meting werd twee keer per waarnemingsveld uitgevoerd. Vanuit deze waarnemingen werd de ruggrootte berekend.

In 2009 werd oriënterend de grootteverdeling van de bodemaggregaten in de rug gemeten, gekarakteriseerd door de gewogen gemiddelde aggregaat diameter (GAD). Hiertoe werd met behulp van een monsternabak de losse grond van 15 cm ruglengte verzameld (Figuur 8), aan de lucht gedroogd, in het laboratorium gesorteerd op aggregaatgrootte en vervolgens gewogen. De GAD van de grond in de ruggen zonder onderliggend bemesterspoor was toen 7,9 mm en van de grond in de ruggen met onderliggend bemesterspoor 8,5 mm. Dit verschil was klein en niet significant ($l_{sd} = 1,9$ mm). Naar aanleiding van dit resultaat werd niet verwacht dat er in volgende jaren wel verschillen op zouden kunnen treden en werd van verdere meting van de GAD afgezien.

Kwaliteit van de grond onder de rug

Over de gewenste kwaliteit van de grond onder de aardappelryg is niet veel bekend. Hoewel bij aardappelen de meeste wortels in de losse grond in de rug groeien, wordt er vanuit gegaan dat beworteling van de grond onder de losse grond gunstig is, vooral in droge perioden. De kwaliteit van de grond onder de rug is daarom vastgelegd door meting van indicatoren voor de mogelijkheden voor beworteling, namelijk de dichtheid van de grond en de indringweerstand.

Bij een hoge dichtheid van de grond zijn er relatief weinig poriën in de grond aanwezig. Gemeten is het totale poriënvolume, maar ook het poriënvolume dat nog met lucht gevuld is (het luchtgehalte) als de grond op veldcapaciteit is. Onder veldcapaciteit wordt een standaard natheid van de grond bedoeld, bij een zuigspanning van het bodemvocht van -10 kPa (pF2). Vooral dit luchtgehalte bij pF2 is indicatief voor mogelijke beperking van de groei door zuurstofgebrek van de wortels (onder vochtige omstandigheden). Vuistregel is dat de omstandigheden in de grond beperkend worden als het luchtgehalte beneden de 10% komt. Bij luchtgehalten < 5% zijn de omstandigheden echt beperkend en kun je ook blauwkleuring van de grond door anaerobie tegenkomen. Het poriënvolume van de grond en het luchtgehalte bij pF2 zijn bepaald in de dieptelaag 2,5 - 7,5 cm onder de vrijgegraven basis van de rug.

Ten behoeve van deze bepalingen werden 100 cc ringmonsters gestoken, totaal 6 per veldje, verdeeld over twee tot drie plekken per bodemwaarnemingsveldje. Aangenomen dat de basis van de rug 7,5 cm onder het oorspronkelijke maaiveld ligt, dan zijn de monsters gestoken op 10 - 15 cm onder het oorspronkelijke maaiveld, waarover de bemesterwielen gereden hebben. Bij de ringbemonstering deed zich soms het probleem voor dat op de zware grond van het proefveld tussen de ploegvoren holtes in de grond aanwezig waren, die zelfs na het poten en aanfreen intact bleven. Ook werd in een aantal gevallen last ondervonden van ondergeploegde, niet verteerde gewasresten van de voorgaande teelt van graszaad. Dit kwam met name voor in 2012 en daarom zijn de waarnemingen van 2012 niet meegenomen in de analyse.

Naast het poriënvolume en luchtgehalte is de indringweerstand onder de rug een derde indicator voor de bewortelingsmogelijkheden. Als vuistregel wordt vaak gesteld dat de mogelijkheden voor beworteling beperkt zijn bij indringweerstand hoger dan 2,5 MPa. De indringweerstand is niet alleen afhankelijk van de dichtheid van de grond, maar ook van het vochtgehalte in de grond. Op basis van een meting op één tijdstip kan daarom geen goede beoordeling van de bewortelingsmogelijkheden gemaakt worden. Echter indien op hetzelfde tijdstip gemeten, geeft de indringweerstand wel een goede indicatie van mogelijke verschillen in bewortelbaarheid tussen behandelingen. De indringweerstand in het bodemprofiel onder de rug is gemeten door op twee locaties 5 plekken dwars op de rug te meten (Figuur 9). De metingen werden verricht midden onder de rug en zowel naar links als naar rechts op 11 en 22 cm uit het centrum van de rug. Bij de metingen is de kracht bepaald die het kost om een pen met conus de grond in te drukken. Voor deze metingen is gebruik gemaakt van een Eijkelkamp Electronische Penetrologger met een pen voor continue metingen van 0 tot 80 cm diepte, per diepte interval van 1 cm. De gebruikte conus heeft een tophoek van 60° en een oppervlakte van de basis van 1 cm². De indringkracht wordt gemeten in Newton. De indringweerstand wordt weergegeven in MPa *i.e.* de druk berekend op basis van de indringkracht en de oppervlakte van de conusbasis. Met de verkregen gegevens werd een figuur van de indringweerstand in het bodemprofiel onder de ruggen gemaakt. Uit dit profiel van de indringweerstand kunnen storende, dichte lagen opgespoord worden. Omdat de indringweerstand van de grond beneden de jaarlijkse ploegdiepte niet samenhangt met de éénmalige berijding tijdens de mesttoediening in het voorjaar zijn waarden van punten dieper dan 30 cm niet relevant voor deze proef. Alleen de indringweerstand in de dieptelaag 0 - 30 cm werden daarom uitgewerkt. Naast de uitwerking van een indringweerstandprofiel is ook de gemiddelde indringweerstand onder de ruggen bepaald, als eenvoudige en statistisch goed te verwerken indicator voor de indringweerstand onder de ruggen.



Figuur 7. Matrixplaat om de rugvorm vast te leggen. In het rechter plaatje de basis van de rug waarin de bemonstering voor bepaling van het poriënvolume en het luchtgehalte werd uitgevoerd.



Figuur 8. Monsterbak om losse grond van 15 cm ruglengte te verzamelen.



Figuur 9. Het uitvoeren van penetrometerwaarnemingen dwars op de rug.

2.4.2 Gewaswaarnemingen

De gewaswaarnemingen, om verschillen tussen behandelingen vast te leggen, betroffen de aardappelopbrengst en de sortering. Na het doodspuiten of na natuurlijke afsterving van de aardappelplanten werden de aardappelen op de opbrengstveldjes handmatig gerooid en verzameld. De opbrengstveldjes bestonden steeds uit één rug met een lengte van ten minste 12 meter. Nadat de aardappelen en eventueel aanhangende tarra in de schuur gedroogd waren, zijn de aardappelen geschoond en gesorteerd naar de fracties < 40 mm, 40 - 50 mm, 50 - 60 mm en > 60 mm. Vervolgens werd het versgewicht van elke fractie bepaald, waaruit de totaalopbrengst en de marktbaar opbrengst (> 40 mm) werd berekend. Als karakteristiek voor de sortering van de aardappelen werd voorts de gewogen gemiddelde knoldiameter (GKD) bepaald, waarbij een gemiddelde diameter van 30 mm werd aangenomen voor de fractie < 40 mm en een diameter van 80 mm voor de fractie > 60 mm.

2.5 Statistische analyse

In de resultaten worden eerst per jaar en per experiment de gemiddelde waarden van de gemeten bodem- en gewaskarakteristieken gegeven voor elke behandeling. Daarna zijn de verzamelde bodem- en gewasdata van proefjaar 2010 tot en met 2013 statistisch geanalyseerd. Omdat vanaf 2011 twee experimenten met verschillende mesttoedieningsmethoden werden uitgevoerd is de toedieningsmethode in de analyse als stratum meegenomen. Omdat in 2010 één machine werd gebruikt, was de proefopzet over de jaren 2010 - 2013 niet geheel gebalanceerd. De residual maximum likelihood (REML) procedure van Genstat (Payne *et al.*, 1993) werd gebruikt voor een juiste statistische analyse van deze niet geheel gebalanceerde dataset. Onderzocht zijn de effecten van de bemestersporen en van het voorbereiden van de grond op de bodemkarakteristieken en gewasopbrengsten, inclusief de mogelijke interactie van deze twee invloedsfactoren.

3. Resultaten

3.1 Kwaliteit van de ruggen

De gemiddelde ruggrootte per behandeling en per experiment varieerde van 0,066 m² tot 0,093 m² (Tabel 1). Gemiddeld over alle experimenten was de ruggrootte 0,079 m² en de interne hoogte van de rug (van basis tot top rug) 17,8 cm. De breedte van het deel dat bleef staan bij het aanfrezen was gemiddeld 37 cm en bij het aanfrezen werkte de rijenfrees gemiddeld 7,5 cm dieper dan de werkdiepte bij het poten. De gemiddelde ruggrootte over alle experimenten komt overeen met de gemiddelde ruggrootte in Nederland, die voor de toegepaste 75 cm ruggen door Kouwenhoven *et al.* (2003) wordt geschat op 0,08 m². De gemiddelde ruggrootte per behandeling varieerde niet sterk binnen de experimenten. Het experiment met de sleepslang in 2012 en de beide experimenten in 2013 hadden echter kleinere ruggen dan de overige experimenten (Tabel 1).

Tabel 1. Gemiddelde grootte van de rug (in m²) per experiment en per behandeling.

Behandeling	2010	2011		2012		2013	
	Sslang	Sslang	Haspel	Sslang	Haspel	Sslang	Haspel
R	0,082	0,082	0,084	0,074	0,093	0,067	0,066
S	0,087	0,081	0,084	0,074	0,087	0,068	0,071
V	0,081	0,086	0,085	0,078	0,085	0,066	0,069
VS	0,083	0,083	0,085	0,072	0,090	0,072	0,070
Gemiddeld	0,083	0,083	0,085	0,075	0,090	0,068	0,069

Uit de statistische analyse bleek dat zowel het rijden over de grond met de bemester als het voorbereiden van de grond geen effect hadden op de grootte van de aardappelruggen (Tabel 2).

Tabel 2. Effecten van berijden en voorbereiden op de ruggrootte ($P < 0,05$).

	Geen spoor	Wel spoor	Hoofdeffect voorbereiden (n.s.; lsd = 0,0019)
Niet voorbereiden	0,0786	0,0792	0,0789
Wel voorbereiden	0,0790	0,0799	0,0794
Hoofdeffect spoor (n.s.; lsd = 0,0019)	0,0788	0,0796	

3.2 Kwaliteit van de grond onder de rug

Bodemdichtheid

De gemiddelde bodemdichtheid per behandeling en per experiment varieerde van 1,299 tot 1,589 Mg/m³ (Tabel 3). Gemiddeld over alle experimenten was de bodemdichtheid 1,443 Mg/m³. Dichtheden van ca. 1,35 Mg/m³ worden

voor deze grond als normaal beschouwd. De hoge dichtheden in 2011 werden veroorzaakt doordat de bemonstering in zeer droge omstandigheden gebeurde, d.w.z. in gekrompen grond.

Tabel 3. Gemiddelde bodemdichtheid onder de aardappelrug (in Mg/m³) per experiment en per behandeling.

Behandeling	2010	2011		2013	
	Sslang	Sslang	Haspel	Sslang	Haspel
R	1,360	1,527	1,531	1,345	1,351
S	1,406	1,569	1,569	1,359	1,369
V	1,299	1,534	1,587	1,373	1,367
VS	1,406	1,553	1,589	1,378	1,391
Gemiddeld	1,368	1,546	1,569	1,364	1,369

Uit de statistische analyse blijkt (Tabel 4) dat de grond onder de ruggen met onderliggend bemesterspoor (S en VS) een significant hogere bodemdichtheid heeft dan de grond onder ruggen zonder onderliggend bemesterspoor (R en V). Ook het over de grond rijden tijdens het voorbereiden van de grond leidde gemiddeld tot een wat hogere bodemdichtheid dan bij niet-voorbewerkte grond, maar dit effect was niet statistisch significant.

Tabel 4. Effecten van berijden en voorbereiden op de bodemdichtheid in Mg/m³ (P < 0,05).

	Geen spoor	Wel spoor	Hoofdeffect voorbereiden (n.s.; lsd = 0,017)
Niet voorbereiden	1,410	1,442	1,426
Wel voorbereiden	1,419	1,451	1,435
Hoofdeffect spoor (s.; lsd = 0,017)	1,415	1,446	

Uit de dichtheid van de grond wordt het poriënvolume in de grond berekend. Waar significante verschillen optraden voor de bodemdichtheid was dit ook het geval voor het poriënvolume; bij grotere dichtheid was het poriënvolume kleiner.

Luchtgehalte bij veldcapaciteit

Het luchtgehalte bij pF2 per behandeling en per experiment varieerde van 3,7 tot 14,5% (Tabel 5). Gemiddeld over alle experimenten was het luchtgehalte bij pF2 7,1%. Hoewel luchtgehalten beneden de 10% als beperkend voor de wortelgroei beschouwd worden, werd in het veld geconstateerd dat de wortels wel in de grond onder de ruggen groeiden, vooral daar waar holtes en losse grond aanwezig waren bij de aansluiting van de ploegvoren.

Tabel 5. Gemiddeld luchtgehalte bij pF2 onder de aardappelrug (in %) per experiment en per behandeling.

Behandeling	2010	2011*)		2013	
	Sslang	Sslang	Haspel	Sslang	Haspel
R	11,2	5,4	8,0	7,9	6,0
S	8,6	5,0	6,8	8,3	5,1
V	14,5	6,0	6,8	6,1	4,3
VS	8,6	6,1	7,1	6,2	3,7
Gemiddeld	10,7	5,6	7,2	7,1	4,8

*) In 2011 werd de grond in gekrompen toestand bemonsterd. Hiervoor is bij de uitwerking van de data een correctie op het luchtgehalte toegepast.

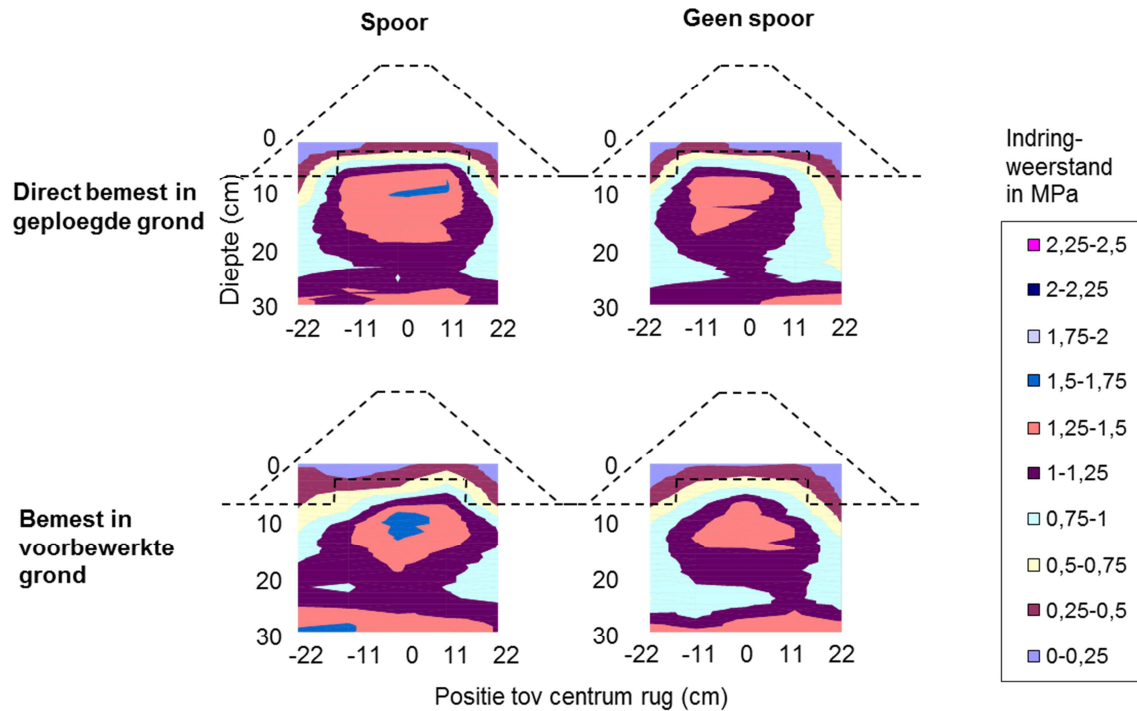
Uit de statistische analyse blijkt (Tabel 6) dat de grond onder de ruggen met onderliggend bemesterspoor (S en VS) een significant lager luchtgehalte heeft dan de grond onder ruggen zonder onderliggend bemesterspoor (R en V). Ook het over de grond rijden tijdens het voorbereiden van de grond leidde gemiddeld tot een wat lager luchtgehalte dan bij niet-voorbewerkte grond, maar dit effect was niet statistisch significant.

Tabel 6. Effecten van berijden en voorbereiden op het luchtgehalte bij pF2 in % v/v ($P < 0,05$).

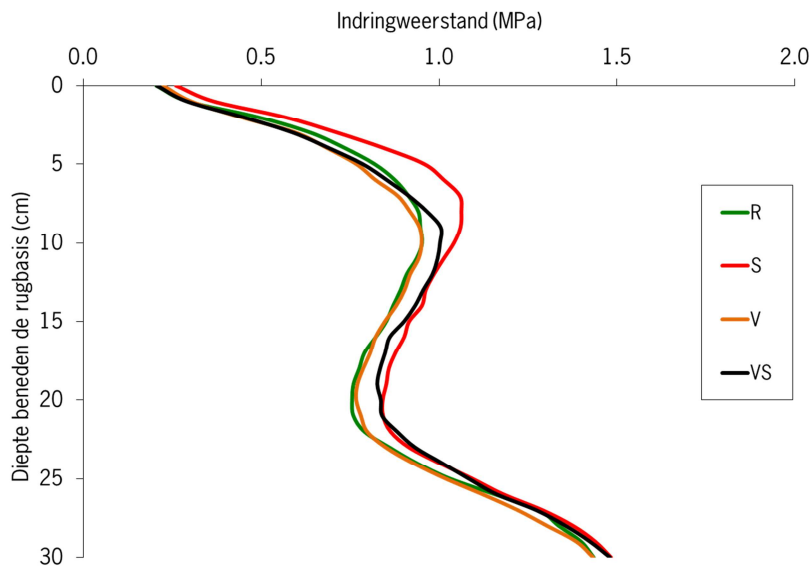
	Geen spoor	Wel spoor	Hoofdeffect voorbereiden (n.s.; lsd = 1,0)
Niet voorbereiden	8,2	7,2	7,7
Wel voorbereiden	8,0	6,8	7,4
Hoofdeffect spoor (s.; lsd = 1,0)	8,1	7,0	

Indringweerstand

Als voorbeeld van de resultaten van de waargenomen profielen van de indringweerstand tot 30 cm onder de ruggen zijn in Figuur 10 de gemiddelde profielen per behandeling weergegeven voor het experiment met de bemester met sleepslangaanvoer in 2012. In Bijlage VII zijn de indringweerstandprofielen voor alle experimenten gegeven. In het algemeen is uit de profielen af te leiden dat de dichtheid van de grond en daarmee de indringweerstand toeneemt als er met de bemester over de grond gereden wordt (spooreffect). Het effect van voorbereiden is minder duidelijk. Het voorbereiden van de grond had in een aantal experimenten tot gevolg dat het spooreffect veel minder uitgesproken was dan wanneer niet voorbereid was. Het beeld dat uit de indringweerstandprofielen naar voren komt wordt enigszins vertroebeld doordat in de profielen soms de vastere grond in de ploegvoren en de losse grond tussen de voren teruggevonden wordt. Bij middeling van de indringweerstand over alle prikken per behandeling (verschillende locaties onder de rug, herhalingen en experimenten) wordt dit 'ploegvooreffect' vermeden, waardoor het behandelingseffect beter naar voren komt (Figuur 11). Uit deze analyse komt naar voren dat het (rijden bij het) voorbereiden praktisch geen effect had op de indringweerstand als de grond daarna niet met de bemester bereiden werd. Het voorbereiden leek een afzwakking van het spooreffect tot gevolg te hebben, vooral in de dieptelaag van ca. 5 tot 10 cm onder de rugbasis (Figuur 11).



Figuur 10. Voorbeeldprofielen van de indringweerstand onder de aardappelruggen, gemeten bij het experiment met de bemester met sleepslangaanvoer in 2012.



Figuur 11. Gemiddelde indringweerstand per behandeling tot 30 cm onder de basis van de aardappelruggen.

Om het effect van de behandelingen op de indringweerstand statistisch te toetsen werd de gemiddelde indringweerstand in de dieptelaag van 5 tot 15 cm onder de rugbasis als karakteristiek genomen. De indringweerstand in deze laag, gemiddeld per behandeling en per experiment, varieerde van 0,57 tot 1,43 MPa (Tabel 7). De hoogste indringweerstand kwamen voor in het relatief droge jaar 2011. Het is opvallend dat juist in

dit droge jaar het spooreffect sterk werd afgezwakt door het voorbereken van de grond. Gemiddeld over alle experimenten was de indringweerstand 0,93 MPa.

Uit de statistische analyse blijkt (Tabel 8) dat de indringweerstand onder ruggen met een onderliggend bemesterspoor (S en VS) significant hoger is dan onder ruggen zonder onderliggend bemesterspoor (R en V). Voorbereken van de grond leidde gemiddeld tot een wat lagere indringweerstand vergeleken met niet voorbereken, maar dit effect was niet statistisch significant. Ook de geconstateerde afzwakking van het effect van de bemesterwielen door het voorbereken in een aantal experimenten was niet statistisch significant.

Tabel 7. Gemiddelde indringweerstand (in MPa) van 5 tot 15 cm onder de basis van de aardappelrug per experiment en per behandeling.

Behandeling	2010	2011		2012		2013	
	Sslang	Sslang	Haspel	Sslang	Haspel	Sslang	Haspel
R	0,66	1,22	1,40	0,94	0,94	0,57	0,57
S	0,74	1,35	1,43	1,05	1,16	0,69	0,59
V	0,74	1,15	1,32	0,91	0,84	0,68	0,58
VS	0,85	1,20	1,28	0,99	0,89	0,75	0,59
Gemiddeld	0,75	1,23	1,36	0,97	0,96	0,68	0,58

Tabel 8. Effecten van berijden en voorbereken op de gemiddelde indringweerstand van 5 tot 15 cm diepte onder de basis van de aardappelrug in MPa ($P < 0,05$).

	Geen spoor	Wel spoor	Hoofdeffect voorbereken (n.s.; lsd = 0,06)
Niet voorbereken	0,88	0,98	0,93
Wel voorbereken	0,87	0,91	0,89
Hoofdeffect spoor (s.; lsd = 0,06)	0,87	0,95	

3.3 Opbrengst en sortering van de aardappelen

Totale en vermarktbaar opbrengst

De gemiddelde totale opbrengst per behandeling en per experiment varieerde van 47,3 tot 71,3 Mg/ha (Tabel 9). Gemiddeld over alle experimenten was de totale opbrengst 58,8 Mg/ha. In 2012 was de opbrengst duidelijk lager, waarschijnlijk door een vochttekort in de periode na het poten. Het effect van de behandelingen op de opbrengst wisselde per experiment. Veelal hadden bemestersporen en voorbereken in het algemeen een negatief effect op de opbrengst. Hogere opbrengsten door het aandrukken van de grond door de bemester of door voorbereken van de grond kwamen soms ook voor. Uit de statistische analyse van de opbrengstresultaten van alle experimenten bleek dat zowel de sporen van de bemester als het voorbereken van de grond een statistisch significante negatieve invloed hadden op de totale opbrengst van de aardappelen (Tabel 10). Betrokken op de opbrengst zonder bemesterspoor was, gemiddeld over niet en wel voorbereken, de totale opbrengst in ruggen met onderliggend bemesterspoor 2,8% lager. Vergeleken met ruggen op niet-voorbewerkte grond was, gemiddeld over met en zonder

bemestersporen, de totale opbrengst bij voorberewkte grond ook 2,8% lager. Vergeleken met onbereden en niet-voorbewerkte grond was het verlies aan totale opbrengst 5,6% in ruggen op voorberewkte grond en met een onderliggend bemesterspoor.

Tabel 9. Gemiddelde totale aardappelopbrengst per experiment en per behandeling (in Mg/ha).

Behandeling	2010	2011		2012		2013	
	Sslang	Sslang	Haspel	Sslang	Haspel	Sslang	Haspel
R	67,0	62,4	64,9	55,0	51,2	64,7	59,2
S	70,2	61,0	60,8	50,2	51,1	58,4	57,1
V	67,7	57,5	67,1	47,3	53,5	59,5	55,8
VS	71,3	58,0	58,1	50,9	53,1	55,0	54,5
Gemiddeld	69,1	59,7	62,7	51,1	52,2	59,4	56,7

Tabel 10. Effecten van berijden en voorberewen op de totale opbrengst van aardappelen in Mg/ha ($P < 0,05$).

	Geen spoor	Wel spoor	Hoofdeffect voorberewen (s.; lsd = 1,36)
Niet voorberewen	61,88	59,65	60,77
Wel voorberewen	59,68	58,43	59,05
Hoofdeffect spoor (s.; lsd = 1,36)	60,78	59,04	

Het effect van de behandelingen op de vermarktbaar opbrengst was vergelijkbaar met het effect op de totale opbrengst (Tabellen 11 en 12). De verliespercentages waren hierbij 2,9% door een bemesterspoor, gemiddeld over wel en niet voorberewen, 3,1% bij voorberewen van de grond, gemiddeld over met en zonder wielsporen en 5,9% bij ruggen met voorberewking en bemesterspoor, vergeleken met ruggen zonder voorberewking en zonder spoor.

Tabel 11. Gemiddelde vermarktbaar opbrengst*) per experiment en per behandeling (in Mg/ha).

Behandeling	2010	2011		2012		2013	
	Sslang	Sslang	Haspel	Sslang	Haspel	Sslang	Haspel
R	60,6	59,4	61,3	45,5	43,2	57,5	50,5
S	63,7	57,4	57,4	40,9	43,3	52,4	48,9
V	61,7	53,3	63,5	39,9	45,4	51,4	48,0
VS	64,6	54,6	54,5	42,6	44,6	48,3	47,3
Gemiddeld	62,7	56,2	59,2	42,4	44,1	52,4	48,7

*) sortering > 40 mm.

Tabel 12. Effecten van berijden en voorbewerken op de vermarktbare opbrengst van aardappelen in Mg/ha ($P < 0,05$).

	Geen spoor	Wel spoor	Hoofdeffect voorbewerken (s.; lsd = 1,36)
Niet voorbewerken	55,24	53,25	54,24
Wel voorbewerken	53,09	51,97	52,53
Hoofdeffect spoor (s.; lsd = 1,36)	54,16	52,61	

Op perceelsniveau moet rekening gehouden worden met de oppervlakte aan sporen en aan niet bereiden grond en of er voorbewerkt is. Voor de berekening van de verliezen over het hele perceel zijn de verliezen aan vermarktbare opbrengst door de verschillende combinaties van sporen en voorbewerken gebruikt (Tabel 12). Hierbij zijn de verliezen gewogen naar de fractie van het oppervlak waarop ze voorkwamen. Bij de machine met aanvoersleepsling was 12,5% van het oppervlak bereiden (werkbreedte van 12 meter; onder 2 van de 16 ruggen een spoor). Bij de machine met de haspelwagen was dat 25% (sporen onder 4 van de 16 ruggen). Als referentie is de opbrengst op niet voorbewerkte grond, zonder spoor genomen. De berekende verliezen aan marktbaar opbrengst op het totale perceel, zijn weergegeven in Tabel 13.

Tabel 13. Verliezen van vermarktbare consumptieaardappelen op kleigrond op perceelsniveau door structuurverlies in de bemestersporen bij de mesttoediening op geploegd land en door het eventuele voorbewerken van de grond (in % van de opbrengst op een onbereiden en niet voorbewerkt perceel).

Bron van verlies	12 m brede zodenbemester met mestaanvoer via een sleepsling	12 m brede zodenbemester met mestaanvoer via afrol/oprol van de sling op een haspelwagen
Alleen bemestersporen	0,5	0,9
Voorbewerken én bemestersporen	4,1	4,4

Sortering

De gewogen gemiddelde knoldiameter (GKD) per behandeling en per experiment varieerde van 48 tot 69 mm (Tabel 14). Gemiddeld over alle experimenten was de GKD 58 mm. In 2012 was de GKD lager dan gemiddeld, waarschijnlijk door een vochttekort in de periode na het poten. In 2011 was de GKD hoger dan gemiddeld. Het effect van de behandelingen op de GKD was relatief klein en wisselde per experiment. Uit de statistische analyse van de GKD resultaten van alle experimenten bleek dat sporen geen significant effect op de GKD hadden. Het voorbewerken van de grond resulteerde in een relatief kleine (0,7 mm), maar statistisch significante verlaging van de GKD (Tabel 15).

Tabel 14. Gewogen gemiddelde knoldiameter (GKD) per experiment en per behandeling (in mm).

Behandeling	2010	2011		2012		2013	
	Sslang	Sslang	Haspel	Sslang	Haspel	Sslang	Haspel
R	59	69	68	48	48	60	54
S	58	69	67	48	49	59	54
V	59	66	68	49	49	56	54
VS	58	68	67	48	48	56	56
Gemiddeld	58	68	67	48	48	58	54

Tabel 15. Effecten van berijden en voorbereken op de GKD van aardappelen in mm ($P < 0,05$).

	Geen spoor	Wel spoor	Hoofdeffect voorbereken (s.; lsd = 0,6)
Niet voorbereken	58,0	57,7	57,8
Wel voorbereken	57,2	57,1	57,1
Hoofdeffect spoor (n.s.; lsd = 0,6)	57,6	57,4	

4. Discussie

In het algemeen kan uit de bodemwaarnemingen geconcludeerd worden dat de losse, geploegde grond door de wielen van de bemester verdicht wordt. Dit gebeurt ook als er bij het voorbereken over de grond wordt gereden. Het effect van voorbereken op de bodemstructuur, kon in dit onderzoek statistisch niet aangetoond worden. In beide gevallen ging het om berijdingen met relatief lage banddrukken en daarom ook om een beperkt effect op de bodemstructuur. De effecten die gevonden werden komen in principe overeen met de effecten die gemeten zijn in het gewas aardappels bij proeven met lagedruk berijding (Vermeulen & Klooster, 1992; Kouwenhoven & Terpstra, 1992), maar zijn minder groot en niet zo duidelijk. Bij de proeven met lagedruk berijding werd lagedruk berijding vergeleken met permanent onbereden grond. De minder grote reactie op het berijden van de grond met lage druk in het voorliggend onderzoek kan mogelijk verklaard worden, doordat de grond in de referentiebehandeling (R) niet permanent onbereden was. Het poten gebeurde bijvoorbeeld met dubbellucht op rij-afstand, waarbij een relatief hoge druk in de banden toegepast moest worden om de combinatie te dragen. Hoewel hiermee niet direct op de grond onder het centrum van de aardappelruggen gereden is, werd wel de grond onder de flanken van de rug bereden en was er waarschijnlijk op grotere diepte een invloed door de spreiding van de bodemdruk in de grond.

Het onderzoek wijst uit dat het voorbereken en het berijden van de grond leidt tot lagere gewasopbrengsten. Echter, in individuele proeven kwamen hogere opbrengsten door het aandrukken van de grond door de bemester of door voorbereken van de grond soms ook voor. Dit verschil in reactie hangt mogelijk samen met de vochtvoorziening van de aardappels, die afhankelijk van de jaarlijkse weersomstandigheden in het teeltseizoen door het aandrukken van de grond onder de ruggen soms beter en soms slechter wordt. Juist om een beeld te krijgen van de gemiddelde behandelingseffecten zijn de waarnemingen meerdere jaren uitgevoerd en mag ervan uitgegaan worden dat deze effecten, mits statistisch significant, ook in een volgende reeks van jaren zichtbaar zullen zijn. Voor invoering van maatregelen in de praktijk zijn jaarlijks wisselende resultaten lastig, omdat het vertrouwen in een bepaald gemiddeld resultaat vaak ontbreekt na een jaar met relatief slechte resultaten. Bij de communicatie van de resultaten van dit onderzoek zou met dit aspect rekening gehouden moeten worden.

Het per jaar sterk wisselende opbrengsteffect van het voorbereken van de grond (gemiddeld 3,1% opbrengstderiving) en de kleinere knolmaat kunnen niet goed verklaard worden door de relatief beperkte verdichting van de grond. Een mogelijke verklaring kan zijn dat de pooters minder optimaal weggelegd worden als de pootcombinatie in al bewerkte grond werkt in vergelijking met de werking op geploegde grond, waarvoor de combinatie in principe bedoeld is.

In het onderzoek is bewust gekozen voor de toediening van mest vóór het poten van de aardappels. Er bestaat ook de mogelijkheid om de mest na het poten toe te dienen. Dit kan in potentie uitgevoerd worden met een vergelijkbare ammoniakemissie als bij mesttoediening in sleuven voor het poten (Huijsmans & Hol, 2012). Deze optie kan meer ruimte bieden om logistieke problemen te voorkomen, immers er is meer werkbaar tijd beschikbaar in de periode tussen het poten en het ruggenfrezen, indien het ruggenfrezen niet gelijk met of direct na het poten wordt uitgevoerd. Bij mesttoediening na het poten wordt veelal met dubbellucht tussen de ruggen gereden. Effecten hiervan op de bodemstructuur zijn niet bekend.

Het is een bekend fenomeen dat bij berijden van de grond met lage druk, zoals bij de toegepaste mesttoediening, vooral de toplaag van de grond verdicht wordt. Echter bij het poten wordt de toplaag van de grond (ca. 8 cm) weer losgemaakt voor het maken van een pootbed. Dit kan verklaren waarom de verschillen in dichtheid, luchtgehalte en indringweerstand van de grond onder de ruggen, tussen wel en niet bereden grond bij de voorliggende proeven in het algemeen minder uitgesproken zijn dan bij de proeven met wintertarwe (Huijsmans *et al.*, 2012). Desondanks was bij bodemdrukker < 100 kPa de opbrengst van wintertarwe in de sporen niet lager dan buiten de sporen. Bij aardappelen wordt een veel sterker effect van de bodemstructuur op de opbrengst gevonden dan bij wintertarwe, wat goed overeenkomt met de resultaten in eerder onderzoek naar de effecten van lagedrukberijding op de opbrengst van gewassen (Vermeulen & Klooster, 1992). Ook bij dat onderzoek had berijden van de grond met lage druk een relatief sterk effect op de rooigewassen, waaronder aardappelen, en geen effect op wintertarwe.

Vergeleken met de mesttoedieningsapparatuur in 1980 kunnen bij moderne apparatuur lagere banddrukken worden toegepast ondanks de vergroting van de capaciteit (Vermeulen *et al.*, 2013). De range van toegepaste banddrukken bij de mesttanks in 1980 was 300 tot 500 kPa. Op dit moment zijn de banddrukken bij mesttanks met aangekoppelde bemester, meestal lager dan 200 kPa door toepassing van meer assen en grotere banden. Zelfrijdende bemesters worden vaak toegepast in combinatie met mestopslag aan de rand van het veld. Als op deze bemesters een (band)drukwisselsysteem beschikbaar is kan de banddruk op een relatief laag niveau voor veldwerk met sterk wisselende belasting worden ingesteld en kan de banddruk vaak beperkt blijven tot minder dan 150 kPa. De meest bodemvriendelijke apparatuur op dit moment zijn de systemen waarbij de mest vanaf de rand van het veld via een slang naar de bemester wordt gepompt (aanvoer via sleepslang). Omdat hierbij geen grote volumes mest over het veld getransporteerd hoeven te worden blijven de aslasten en het aantal toegepaste assen beperkt, zodat de berijding beperkt blijft tot één à twee passages met lage bodemdruk (banddruk < 1 bar), zoals in het voorliggende onderzoek toegepast zijn. Op basis van het onderzoek naar effecten van berijding met lage bodemdrukken (Vermeulen & Klooster, 1992) mag verwacht worden dat de schade aan de bodemstructuur en het opbrengstverlies in aardappelen zal toenemen als hogere bodemdrukken toegepast worden dan die in het voorliggende onderzoek.

5. Conclusies

Bij de toediening van mest in het voorjaar op kleibouwland wordt de geploegde grond verdicht door de sporen van de bemester. Ook bij toepassing van bodemvriendelijke bemesters met lage bodemdrukken ($< 0,9$ bar banddruk) is deze verdichting onder de later gemaakte de ruggen voor de teelt van aardappels nog aantoonbaar. Gemiddeld over de vier jaren van het experiment leidde dit tot een 2,9% lagere vermarktbaar aardappelopbrengst (< 40 mm) in de sporen, vergeleken met de opbrengst buiten de sporen. Afhankelijk van de toegepaste methode (sleepslang of haspelwagen) leidt dit bij een werkbreedte van 12 m tot een opbrengstderving op perceelsniveau van 0,5 - 0,9% voor de bodemvriendelijke bemesters ten tijde van het onderzoek.

Door het voorbereken van de grond kan worden voorkomen dat de mest bij gebruik van een relatief lichte zodenbemester op harde, geploegde kleigrond niet netjes in sleufjes weggelegd wordt, wat verhogend kan werken op de ammoniakemissie. De gemeten toename van de bodemdichtheid door het berijden tijdens het voorbereken was kleiner dan de verdichting door de bemesterwielen en kon niet statistisch significant aangetoond worden. Toch leidde voorbereken gemiddeld tot een 3,1% lagere vermarktbaar opbrengst vergeleken met niet voorbereken. De combinatie van voorbereken van de grond en berijden met de bemester leidde op perceelsniveau tot een opbrengstderving van 4,1 – 4,4% ten opzichte van een veld dat niet is voorberekt en geen bemestersporen heeft.

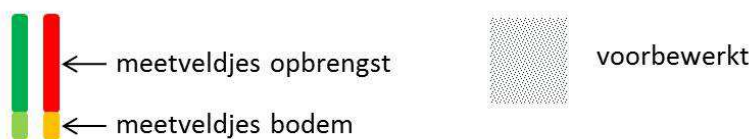
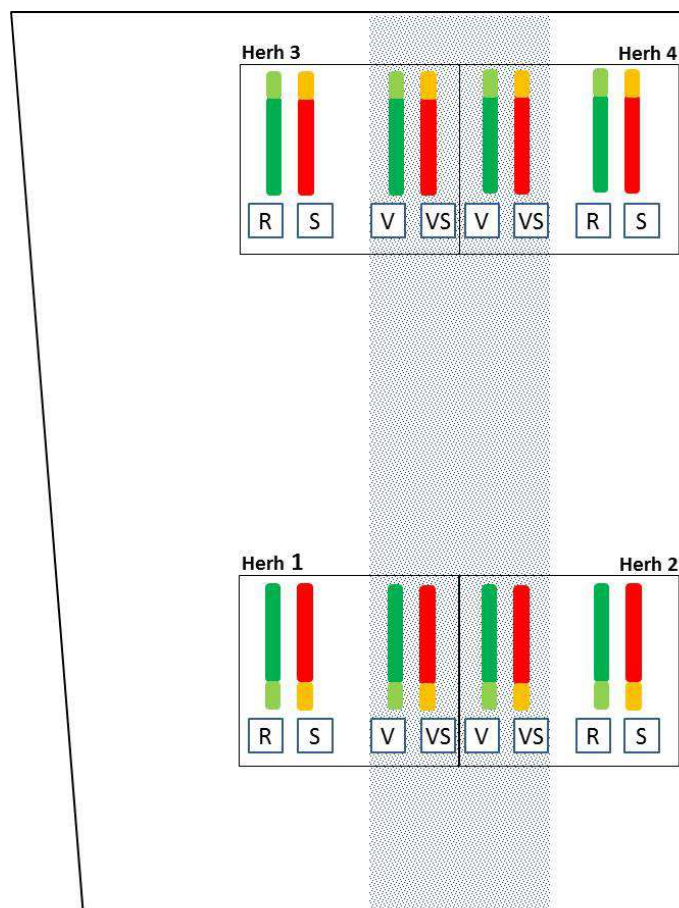
Literatuur

- Huijsmans, J.F.M., G.D. Vermeulen, P.H.M. Dekker & B.R. Verwijs, 2012.
Mesttoediening in het voorjaar in wintertarwe; Effecten op grond en gewas. PRI rapport 443. Plant Research International, Wageningen, 59 pp.
- Huijsmans, J.F.M. & J.M.G. Hol, 2012.
Ammoniakemissie bij mesttoediening en inwerken in aardappelruggen en bij mesttoediening in sleuven op niet beteeld geploegd kleibouwland. PRI rapport 445. Plant Research International, Wageningen, 22 pp.
- Kouwenhoven, J.K., 1978.
Ridge quality and potato growth. *Neth. J. Agric. Sci.* 26: 288-303.
- Kouwenhoven, J.K. and C. van Ouwerkerk, 1978.
Optimum row spacing for potatoes. *Potato Res.* 21: 195-215.
- Kouwenhoven, J.K. and R. Terpstra, 1992.
Quality of seedbed and ridges for potatoes as affected by low ground pressure, compared with normal and zero ground pressure. *Soil & Tillage Res.* 22: 221-231.
- Kouwenhoven, J.K., U.D. Perdok, E.C. Jonkheer, P.K. Sikkema and W. Wieringa, 2003.
Soil ridge geometry for green control in French fry potato production on loamy clay soils in The Netherlands. *Soil & Tillage Res.* 74: 125-141.
- Payne, R.W., P.W. Lane, P.G.N. Digby, S.A. Harding, P.K. Leech, G.W. Morgan, A.D. Todd, R. Thompson, G. Tunnicliffe Wilson, S.J. Welham & R.P. White, 1993.
Genstat 5 Release 3 Reference Manual. Clarendon Press, Oxford, 796 pp.
- Vermeulen, G.D. and J.J. Klooster, 1992.
The potential of a low ground pressure traffic system to reduce soil compaction on a clayey loam soil. *Soil & Tillage Res.* 24: 337-358.
- Vermeulen, G.D., B.R. Verwijs & J.J.H. van den Akker, 2013.
Vergelijking van de bodembelasting bij agrarisch veldwerk in 1980 en 2010. PRI rapport 501. Plant Research International, Wageningen, 38 pp.

Bijlage I.

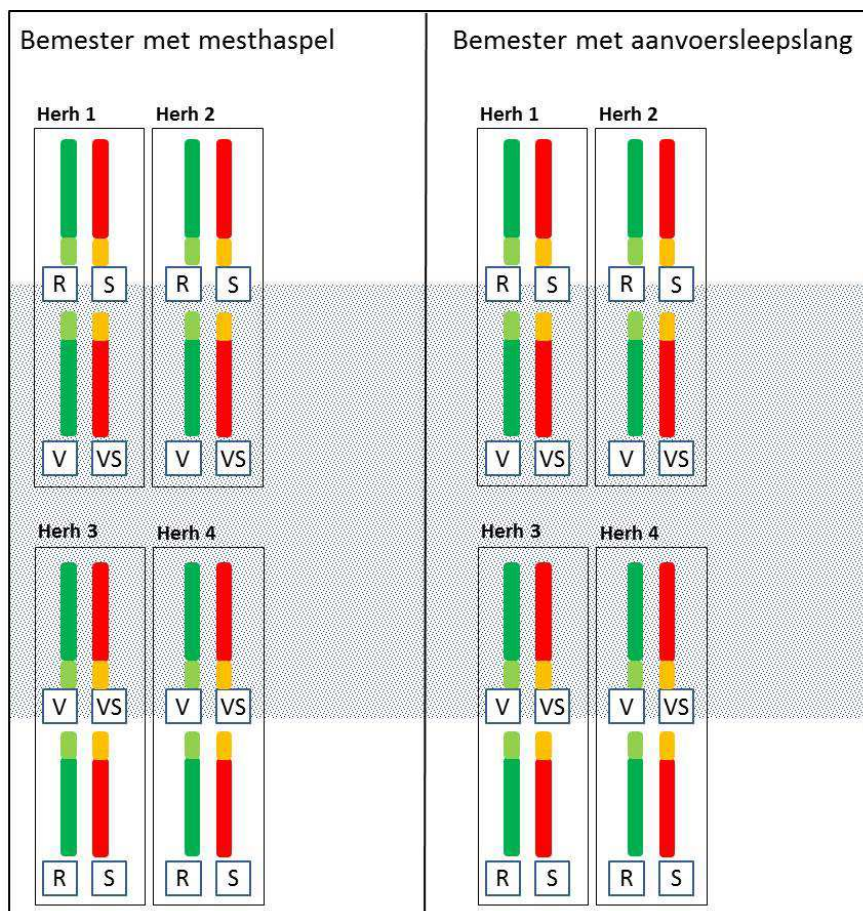
Lay-out van de proeven

Lay-out proefveld 2010, schematisch.



R	Niet voorberekt, geen spoor (Referentie)
S	Niet voorberekt, wel spoor (Spoor)
V	Vorbewerkt, geen spoor (Vorbewerkt)
VS	Vorbewerkt, wel spoor (Vorbewerkt en Spoor)

Lay-out proefvelden 2011 - 2013, schematisch.



 ← meetveldjes opbrengst
 ← meetveldjes bodem

 voorbewerkt

R	Niet voorbewerkt, geen spoor (Referentie)
S	Niet voorbewerkt, wel spoor (Spoor)
V	Voorbewerkt, geen spoor (Voorbewerkt)
VS	Voorbewerkt, wel spoor (Voorbewerkt en Spoor)

Bijlage II.

Bewerkings- en waarnemingsdata

Activiteit	Jaar			
	2010	2011	2012	2013
Voorbewerken	20-4	4-4	4-4	22-4
Mesttoediening	20-4	5-4	5-4	23-4
Bodembemonstering	18-5, 4-6, 5-6	26-5	1-6, 14-6, 15-6	11-6
Rooien proefveldjes	30-9	22-9	20-9	26-9
Sorteren en wegen	25-11	10-11	15-10	1-11

Bijlage III.

Wijze van voorbereken

Het voorbereken van de grond vond plaats met een zaaibedcombinatie. Voorop de trekker was een looprol (kluitenbreker) met twee rijen verende tanden gemonteerd. Tussen de frontheinrichting en de looprol liep een bandenpakker waarmee de grond tussen de wielen van de trekker werd aangedrukt. Achter de trekker was een zaaibedcombinatie aangekoppeld die bestond uit een combinatie van een set beitels direct achter de wielen van de trekker, een looprol (kluitenbreker), vier rijen verspringend staande verende tanden en daarachter 2 verkruijmlrollen.



Trekker-werktuigcombinatie waarmee de grond in 2010, 2011 en 2012 is voorberekt voorafgaand aan het toedienen van de mest.

In 2013 werd een andere combinatie gebruikt met een bandenpakker voorop en een rotorkoep plus drukrol achterop de trekker. Tijdens het werk werd het volledige gewicht van de voorzijde van de trekker en ook de stuurfunctie via de trekkerhydrauliek overgebracht van de vooras van de trekker op de bandenpakker. Het gewicht van de rotorkoep rustte tijdens de grondbewerking op de packerwals, zodat ook de last op de achterwielen beperkt bleef en de gehele combinatie met een gelijkmatig over de bodem verdeelde lage bodemdruk kon werken. Alleen tijdens het draaien op de kopakker kwam het volledige gewicht van de koep in de hefinrichting te hangen.



Trekker-werktuigcombinatie waarmee de grond in 2013 is voorberekt voorafgaand aan het toedienen van de mest.

Met de relatief lichte combinaties die voor het voorbereken gebruikt werden kon door toepassing van brede trekkerachterbanden (800/65R32) met een lage bandspanning van 70 kPa gereden worden.

Bijlage IV.

Bodemdruk karakteristieken van gebruikte zodenbemesters met sleepslangaanvoer

Massa van de gebruikte trekkers en typen Veenhuis Euro 1200 bemesters per jaar in kg, berekend en deels geschat op basis van wegingen; haspel voor vervoer sleepslang gemonteerd in fronthef van trekker.

Jaar	Omschrijving	Trekker	Bemester	Met slang	Zonder slang	Totaal met slang
2010	Fendt 818 Vario, bemester met rail, type 2009	8600	6000	2000	1200	16600
2011	Fendt 818 Vario, bemester met zwenkbuis, "licht"	8600	5500	2700	1700	16800
2012	Fendt 724 Vario, bemester met rail, type 2012	8500	5950	2700	1700	17150
2013	Fendt 724 Vario, bemester met rail, type 2012	8500	5950	2700	1700	17150

Bodemdruk karakteristieken van de gebruikte trekkers met zodenbemesters met sleepslangaanvoer.

Jaar	As	Band	Breedte (cm)	Aslasten* (kg)		Bandspanning (kPa)**		
				In het werk	Bij keren	Benodigd in het werk	Benodigd bij keren	Toegepast
2010	Voor	Michelin MachXBib 710/55R30	68	4804	1040	40	40	60
	Achter	Michelin MachXBib 900/50R42	85	4600	14360	40	150	90
2011	Voor	Michelin MachXBib 710/55R30	68	6120	2870	55	40	60
	Achter	Michelin MachXBib 900/50R42	85	4780	12730	40	130	90
2012, 2013	Voor	Continental SVT 750/55R30	72	6130	1880	50	40	50
	Achter	Continental SVT 900/60R38	87	5670	14270	40	120	80

* Gewichten zonder slang op de rol in de fronthef, berekend uit metingen met slang (2011, 2012, 2013), en uit gegevens van J. van Leijssen/Veenhuis (2010).

** Bij 10 km/uur.

Bijlage V.

Bodemdruk karakteristieken van gebruikte mesthaspelwagen met zodenbemester

Bodemdruk karakteristieken van de gebruikte combinaties van New Holland T7030 autocommand trekker met Veenhuis Rotomax mesthaspelwagen en Veenhuis ECO 1200 zodenbemester.

Jaar	As	Band	Breedte (cm)	Aslasten* (kg)		Bandspanning (kPa)**		
				In het werk	Bij keren	Benodigd in het werk	Benodigd bij keren	Toegepast
2011 en	Voor	Goodyear Optitrac DT830 750/55R26	76	2640	2780	60	60	50
2012 ***	Achter	Goodyear Optitrac DT830 900/50R42	90	9450	8200	70	60	50
	Wagen	Michelin MachXBIB 800/70R38	80	10180	15200	60	140	70
2013 ****	Voor	Goodyear Optitrac DT830 750/55R26	76	3930	4210	60	60	50
	Achter	Goodyear Optitrac DT830 900/50R42	90	9530	8470	80	60	50
	Wagen	Michelin AxioBib IF900/60R42	88	14540	17503	140	200	50

* Lasten berekend voor situatie met 700 m volle slang (6 m³ mest) op de mesthaspelwagen.

** Bij 10 km/uur op het veld, zonder cyclische belasting.

*** Berekend voor model 2011 op basis van gegevens van de fabrikanten New Holland en Veenhuis in 2011.

**** Berekend voor model 2013 op basis van eigen wegingen in 2013, met maximale druk op de topdrukcilinder om de achteras van de trekker te ontlasten.

Volgens eigenaar J. Laurijssen werden de banden niet beschadigd bij een bandspanning van 50 kPa, die veel lager was dan aanbevolen voor de gebruikte banden. Bij de combinatie in 2013 werd een extra drukcilinder toegepast om gewicht van de achteras over te dragen op de vooras van de trekker. Ook werd een nieuwe hefinrichting aan de haspelwagen toegepast waarmee extra druk op de zodenbemester gezet kan worden om een goede indringing op geploegd land te kunnen verzekeren.

Bijlage VI.

Wijze van poten en aanfrezen

Het poten werd uitgevoerd met een vierrijige pootmachine achter een trekker die op de achteras uitgerust was met dubbellucht op rijafstand. Hierbij hebben de twee ruggen die onder de trekker doorgaan, aan één zijde een trekkerspoor. De overige ruggen hebben aan beide zijden een trekkerspoor. De wielconfiguratie is in alle jaren gelijk gebleven. Tijdens de tamelijk natte conditie van de grond bij het poten in 2013 viel op dat de insporing van de trekkerwielen aanzienlijk was.

Bij het aanfrezen was de trekker uitgerust met enkele wielen op de achteras en reed de trekker door dezelfde sporen als bij het poten. Zowel de achterwielen als de voorwielen hadden hierbij een spoorbreedte van 1,5 meter. De apparatuur bij het aanfrezen was ingesteld op het maken van standaard aardappelruggen met een vlakke top en een topbreedte van 18 - 20 cm.

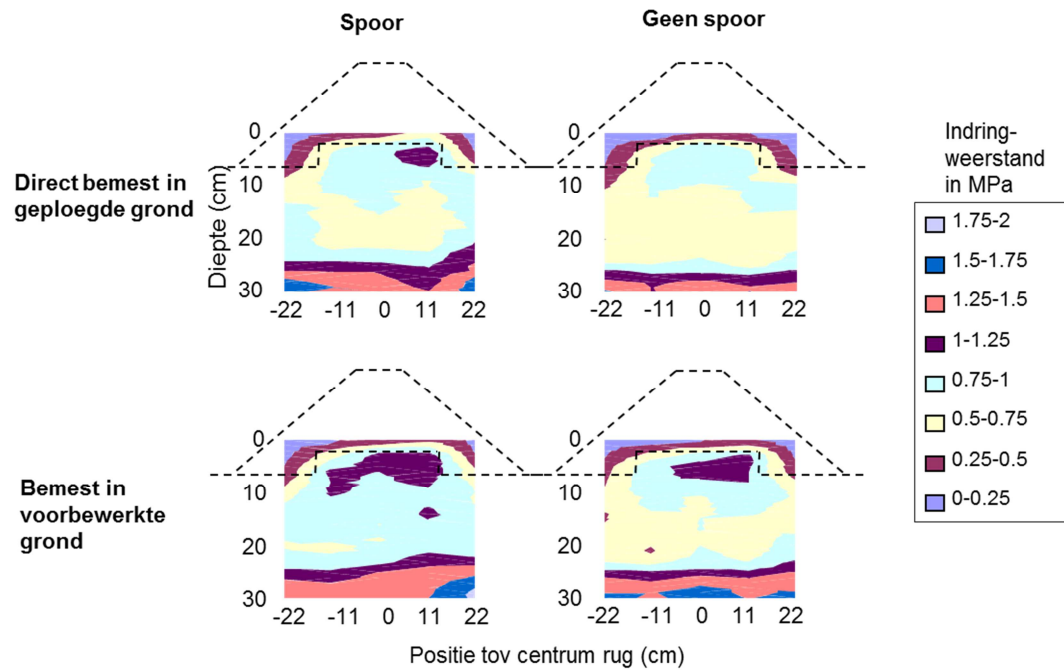


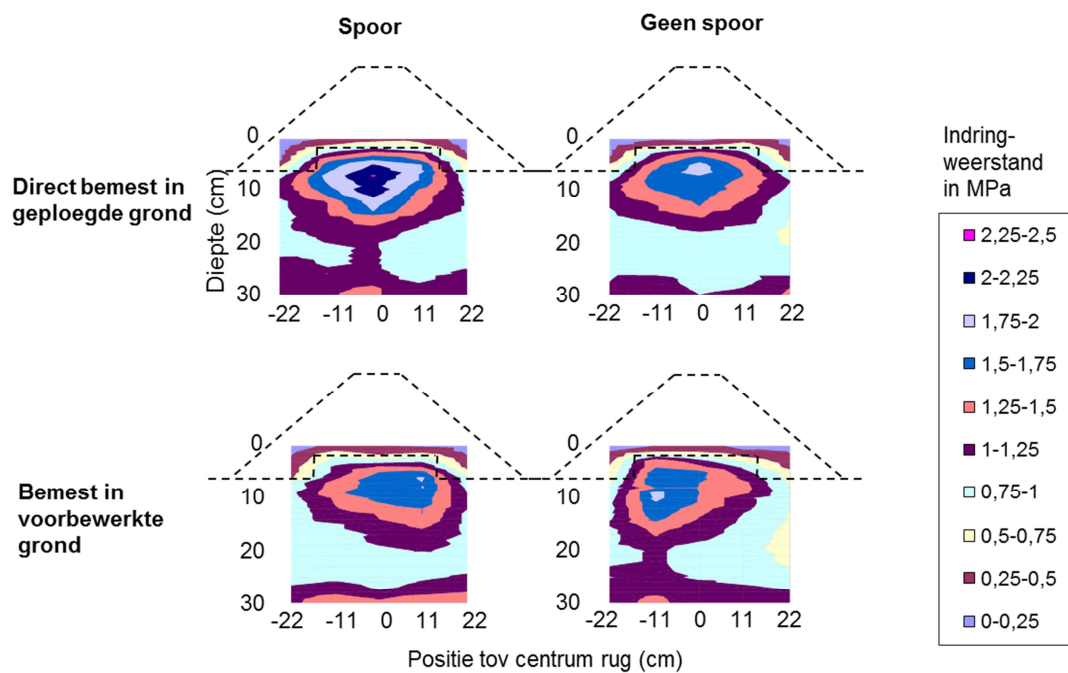
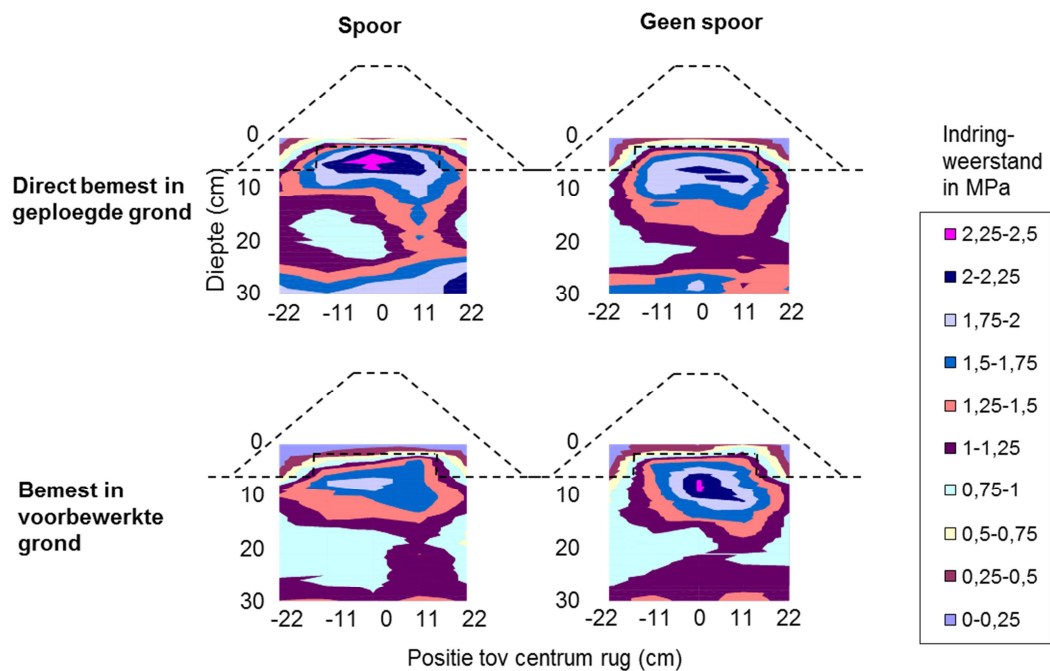
De pootcombinatie met: voorop een frees met een werkbreedte van 300 cm, een vierwielaangedreven trekker met dubbellucht op rijafstand achter en achterop een 4 rijige pootmachine.

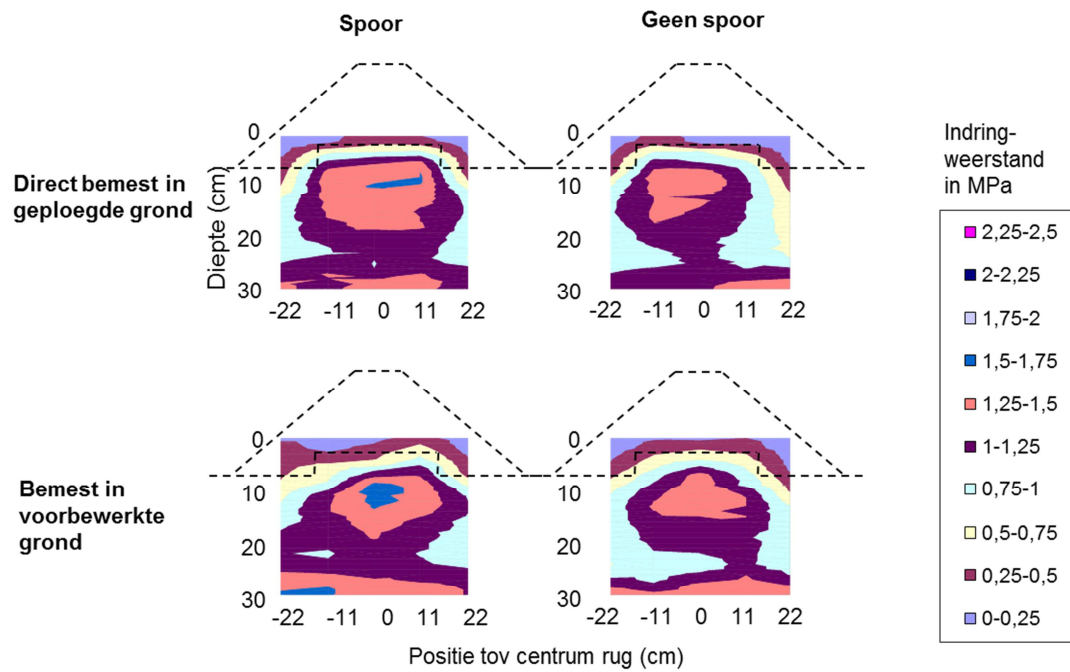
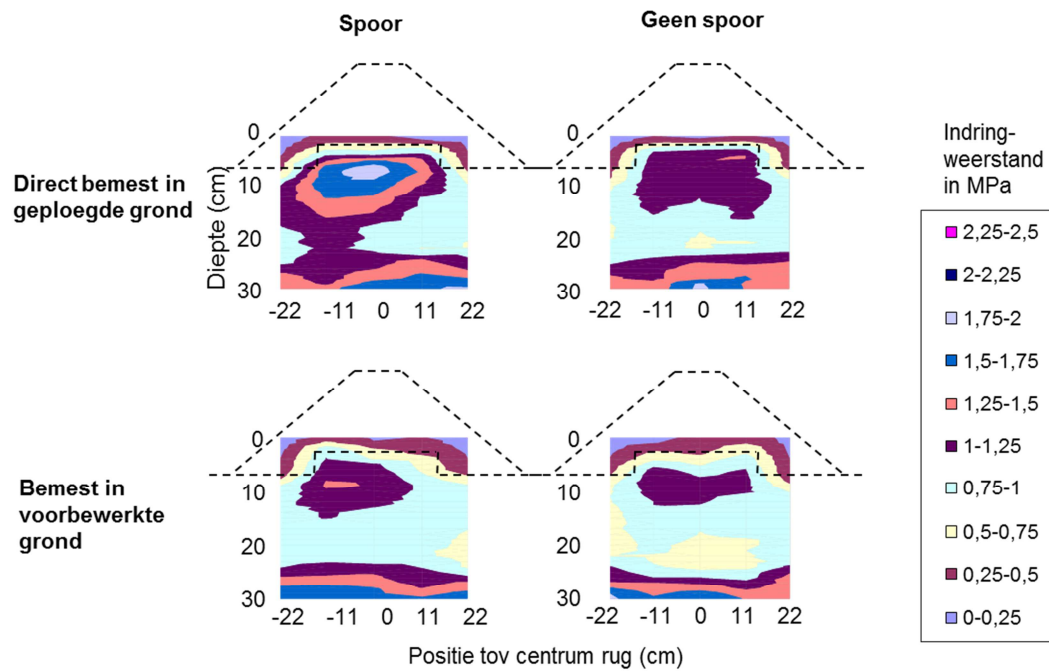
Bijlage VII.

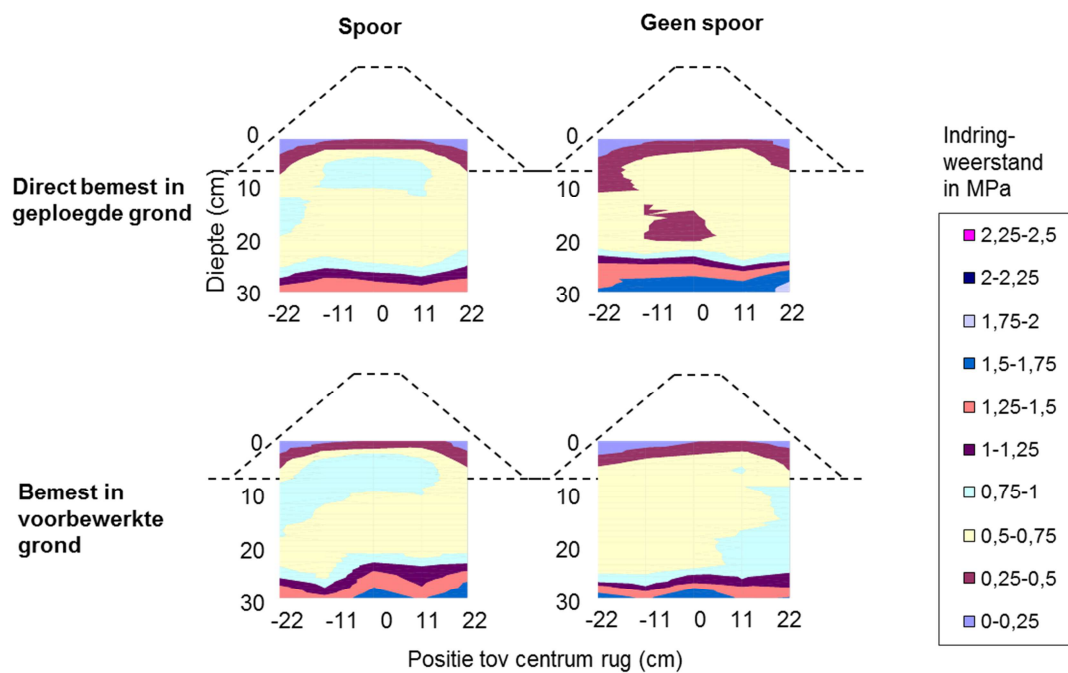
Indringweerstandprofielen onder de ruggen

Experiment 2010, sleepslangaanvoer



Experiment 2011, sleepslangaanvoer*Experiment 2011, haspelwagen slangaanvoer*

Experiment 2012, sleepslangaanvoer*Experiment 2012, haspelwagen slangaanvoer*

Experiment 2013, sleepslangaanvoer*Experiment 2013, haspelwagen slangaanvoer*