

# Verbetering structuur ondergrond

Verslag van veldonderzoek op een zavelgrond te Lelystad 2006-2009

W.C.A. van Geel, P.H.M. Dekker (PPO-AGV) en W.J.M. de Groot (Alterra)

© 2009 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

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 Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht en met financiering van:

Stichting Proefbedrijven Flevoland  
Edelhertweg 1  
8219 PH Lelystad

Tevens is medefinanciering verkregen van:

Agrifirm  
Noordeinde 31  
Postbus 1033  
7940 KA Meppel

Projectnummer: 32 50055100

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Sector AGV

Adres : Edelhertweg 1, Wageningen  
: Postbus 430, 8200 AK Lelystad  
Tel. : 0320 - 29 11 11  
Fax : 0320 - 23 04 79  
E-mail : [info.ppo@wur.nl](mailto:info.ppo@wur.nl)  
Internet : [www.ppo.wur.nl](http://www.ppo.wur.nl)

# Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING .....	7
2 OPZET EN UITVOERING .....	9
2.1 Het proefperceel.....	9
2.2 Proefobjecten en indeling proefveld.....	10
2.2.1 Diepe grondbewerkingen.....	10
2.2.2 Gewasrotaties .....	12
2.2.3 Bodemmetingen en -waarnemingen .....	13
3 RESULTATEN .....	15
3.1 Beoordeling proefveld in 2006.....	15
3.2 Visuele beoordeling effect diepe grondbewerkingen .....	16
3.2.1 Effect op de bewerkte grondlaag .....	16
3.2.2 Effect op wateroverlast op het perceel .....	16
3.3 Bodembeoordeling na de diepe grondbewerkingen.....	18
3.3.1 Indringingsweerstand en dichtheid van de bodem.....	18
3.3.2 Infiltratiesnelheid en verzadigde doorlatendheid.....	19
3.3.3 Beworteling aardappelen en luzerne .....	19
3.4 Gewasgroei en opbrengst in 2007 en 2008.....	20
3.5 Gewasgroei en opbrengst zomergerst in 2009 .....	23
4 DISCUSSIE .....	31
LITERATUUR.....	35
BIJLAGE 1. BIOMASSAKAART GERST VOORJAAR 2006.....	37
BIJLAGE 2. SCHEMA VAN HET PROEFVELD IN 2007-2008.....	38
BIJLAGE 3. INDRINGSWEERSTAND 21 JUNI 2006 .....	40
BIJLAGE 4. TREKKRACHTMETING TOT 45 CM –MV, SEP 2006.....	43
BIJLAGE 5. NEERSLAGGEGEVENS PROEFBEDRIJF LELYSTAD .....	44
BIJLAGE 6. OVERNAME UIT ALTERRA - RAPPORT 1450 .....	45



# Samenvatting

Verdichting van de ondergrond leidt tot achteruitgang van de bodemkwaliteit en het productievermogen van de grond. De verdichting ontstaat door het berijden van het land met zware (oogst)machines onder natte omstandigheden en is moeilijk op te heffen. Verdichte percelen blijven langer nat, waardoor de kans op verdere verdichting toeneemt bij berijden met zware machines. Verdichting komt ook op de relatief jonge landbouwgronden in Flevoland voor.

In opdracht van de Stichting Proefboerderijen Flevoland (SPF) is PPO-AGV in een meerjarige veldproef (2006 t/m 2009) nagegaan of en hoe op een zavelgrond de structuur van een verdichte ondergrond kan worden verbeterd. Het doel van de proef was om het effect van diepe-grondbewerkingsmethoden en het effect van wel of niet diepwortelende gewassen te vergelijken alsook de combinatie van grondbewerking en gewaskeuze. Het onderzoek is uitgevoerd op een perceel zavelgrond te Lelystad waar regelmatig wateroverlast optrad. Onder de bouwvoor bleek een verdichte laag aanwezig te zijn (op 25-40 cm –mv), die slecht water doorlaat en de beworteling van de gewassen belemmert.

Op het perceel zijn in oktober 2006 drie diepe grondbewerkingen naast elkaar uitgevoerd: woelen met een gewone woelpoot (Cappon), woelen met een combiplot en spitten. Er is gewoeld tot 45 cm diepte. Bij het spitten werd een diepte bereikt van 43 cm. De grondbewerkingen zijn uitgevoerd op grotere oppervlakten en aangelegd in enkelvoud. Ook is een onbehandeld object opgenomen (geen diepe grondbewerking). In 2007 en 2008 zijn dwars over de grondbewerkingsobjecten drie verschillende gewasrotaties heengelegd in twee herhalingen. De rotaties betroffen:

1. tweejarige teelt van luzerne (diep wortelend maaigewas)
2. wintertarwe in 2007 en suikerbieten in 2008 (diep wortelend maaigewas en diep wortelende rooivruucht)
3. consumptieaardappel in 2007 en zaaui in 2008 (ondiep wortelende rooivruuchten).

In 2009 is op het gehele proefveld zomergerst geteeld als toetsgewas om een beeld te krijgen van het effect van de grondbewerkingen en de gewasrotaties. Per proefobject zijn stikstoftrappen aangelegd in de gerst om een stikstofeffect van de voorvrucht (stikstofnawerking uit de luzernestoppel en het bietenloof) te kunnen onderscheiden van andere effecten.

De eenmalige diepe grondbewerkingen (woelen tot 45 cm diepte of spitten tot 43 cm diepte) brachten geen verbetering op het perceel. Het maakte de grond weliswaar lossier, maar deze bleek gemakkelijk her te verdichten. De verdichting leek na de diepe grondbewerkingen iets minder te zijn geworden, maar bleef duidelijk aanwezig. De dichtheid van de grond was nog steeds hoog, het luchtgehalte te laag voor een goede beworteling van de gewassen en het probleem van wateroverlast werd niet kleiner. Dat de diepe grondbewerkingen de structuur van de bodem niet of onvoldoende verbeterden en het wateroverlast-probleem niet verhielpen, stemt overeen met de bevindingen uit verleden onderzoek naar de effecten van diepe grondbewerkingen.

Het leidde door de bank genomen ook niet tot een betere gewasopbrengst in de proefjaren (2007 t/m 2009). Enkel bij suikerbieten (2008) werd een positief effect van de diepe grondbewerkingen op de opbrengst gevonden.

Het telen van diep wortelende gewassen verbeterde de structuur ook niet. Bij luzerne bleek het wortelgestel niet in staat de verdichte laag te breken. De penwortels drongen er niet in door. Evenmin trad er een synergievoordeel op tussen de combinatie van diepe grondbewerking in het najaar en de teelt van diepwortelende gewassen in het daaropvolgende jaar. In de volgteelt gerst in 2009 was de korrelopbrengst na luzerne het hoogst, vervolgens na bieten en na aardappel-zaaui het laagst. Dit betrof echter een stikstofeffect (stikstofnawerking uit de gewasresten van luzerne en biet). Er was geen sprake van een hogere opbrengst of betere stikstofbenutting door verbetering van de bodemstructuur.

Een verdichting in de ondergrond is niet eenvoudig op te heffen en moet daarom worden voorkomen. Voorkomen is beter genezen.

Vervolgonderzoek aan verdichting moet zich vooral richten op mogelijkheden in de praktijk om verdichting te voorkomen. Te denken valt aan aanpassing van de mechanisatie maar ook aan (het ontwikkelen van)

eenvoudige metingen of waarnemingen om onder nattere omstandigheden het risico van verdichting op een bepaald perceel snel te kunnen beoordelen.

Verder verdient het aanbeveling om onderzoek te doen naar technische verbetering van diepe-grondbewerkingsmethoden om de structuur van de ondergrond blijvend te verbeteren c.q. herverdichting te voorkomen, bijvoorbeeld door de gebroken stukken grond te kantelen, waardoor deze niet terug op hun plaats vallen in hun oorspronkelijke zetting of door zomogelijk tegelijk met het woelen een mulchlaag van organisch materiaal in de verdichte laag aan te brengen die herverdichting van de grond moet tegengaan.

Ten aanzien van de combinatie van diepe grondbewerking en diepwortelende gewassen, verdient het aanbeveling nader te kijken naar de mogelijkheden om een snelle beworteling van de gebroken laag te bewerkstelligen, voordat deze gaat herverdichten. De wortels kunnen dan de nog niet-herverdichte laag in groeien en daar de grond verder los maken. Te denken valt aan het uitvoeren van een diepe grondbewerking in augustus, gevolgd door de zaai van een diepwortelende groenbemester of diepwoelen in tweejarige luzerne. De luzernewortels zijn dan al aanwezig waar ze hun werk moeten doen.

Op percelen waar wateroverlast optreedt als gevolg van verdichting in de ondergrond en waar twijfels zijn over het functioneren van de drainage, zou kunnen worden nagegaan in hoeverre opnieuw draineren c.q. tussendraineren de problemen met wateroverlast opheft.

# 1 Inleiding

Verdichting van de bodem bedreigt het productievermogen van de Nederlandse landbouwgrond. Het ontstaat door het berijden van het land met zware (oogst)machines onder natte omstandigheden. Verdichting leidt tot een afname van het totale poriënvolume in de grond, alsook van de met lucht gevulde poriën en tot een afname van de waterdoorlaatbaarheid. Hierdoor gaan de productiviteit en biologische activiteit van de bodem omlaag en is er meer kans op plasmovorming, overstroming, bodemerrosie en nutriëntenverliezen via afspoeling en denitrificatie van stikstof. Ook is een verdichte grond moeilijker bewortelbaar.

Verdichte percelen blijven langer nat, waardoor de kans op verdere verdichting toeneemt bij berijden met zware machines. Verdichting komt ook op de relatief jonge landbouwgronden in Flevoland voor.

Verdichting in de bouwvoor wordt ongedaan gemaakt door een grondbewerking zoals ploegen of spitten. Een verdichting net onder de bouwvoor (een ploegzool) kan worden gebroken door te ploegen met woelers. Een verdichting dieper in de ondergrond is moeilijk op te heffen. Het resultaat van diepwoelen, diepploegen of diepspitten valt op langere termijn tegen (Ministerie van Landbouw en Visserij, 1984; van Wijk en Willet, 1992). In proeven was de verdichting na een aantal jaar zelfs groter dan voor de ingreep het geval was. Verder verslechterde de waterdoorlatendheid van de losgemaakte grond door verstoring van de poriën en daarmee de natuurlijke drainage van de bodem, waardoor de grond langer nat bleef. Kooistra et al. (1984) vonden dat herverdichte ploegzolen en ondergronden een sterk verslechterde structuur hebben, waardoor de verzadigde doorlatendheid sterk afneemt, de grond lang nat blijft en problemen ontstaan met de zuurstofvoorziening van wortels.

Diep en intensief wortelende gewassen, zoals granen en koolzaad alsook goed geslaagde (vroeg gezaaide) groenbemesters, kunnen de bodemverdichting ook verminderen of de nadelige effecten ervan: de wortels van deze gewassen vormen poriën, die de natuurlijke drainage van de grond kunnen verbeteren. Uit een veldproef in 2005-2006 op kleigrond te Lelystad kon echter niet worden opgemaakt dat de eenmalige teelt van een goed geslaagde groenbemester (bladrammenas of Engels raaigras) al een duidelijke verbetering geeft van de bodemstructuur (van Geel et al., 2007). Waarschijnlijk zijn meerdere teelten c.q. jaren nodig voordat een merkbaar herstel van de bodem optreedt.

In opdracht van de Stichting Proefboerderijen Flevoland (SPF) is PPO in een meerjarige veldproef nagegaan of en hoe op een zavelgrond de structuur van een verdichte ondergrond kan worden verbeterd. Het doel van de proef was om het effect van diepe-grondbewerkingsmethoden en het effect van wel of niet diepwortelende gewassen te vergelijken alsook de combinatie van grondbewerking en gewaskeuze. Het onderzoek is in juni 2006 van start gegaan en eind 2009 afgerond met dit verslag. De opzet en uitvoering van de proef zijn beschreven in hoofdstuk 2 en de resultaten in hoofdstuk 3. De resultaten worden in hoofdstuk 4 bediscussieerd.





## 2 Opzet en uitvoering

### 2.1 Het proefperceel

Het onderzoek is uitgevoerd op kavel G98, gelegen achter de gebouwen van Animal Sciences Group aan de Edelhertweg te Lelystad. Het perceel betreft een matig lichte zavelgrond. De bodemvruchtbaarheidsgegevens zijn weergegeven in tabel 1. PPO-AGV beheert dit perceel sinds 2005. Daarvoor is het jarenlang verhuurd geweest. Op het perceel trad regelmatig wateroverlast op. In 2003 is het perceel al eens gekilverd en gewoeld, maar het bleef desondanks een probleemperceel.

Tabel 1. **Bodemvruchtbaarheidsgegevens proefveld 0-25 cm (6 oktober 2006), analysegegevens Blgg**

Parameter	Meetwaarde	Waardering (Blgg)
Lutum (%)	14%	-
Organische stof (%)	3,2%	vrij laag
pH-KCl	7,6	goed
Koolzure kalk (% CaCO <sub>3</sub> )	4,8	-
Klei-humus-complex (CEC) (mmol/kg)	205	-
CEC-bezetting (%)	70%	laag
N-totaal (mg N/kg)	1099	-
C/N-verhouding	15	goed
P-PAE (mg P/kg)	1,02	op de grens van vrij laag en goed
P-Al	46	goed
Pw (berekend)	±35	-
K-getal (berekend uit K-PAE)	17	vrij laag
S-totaal (mg S/kg)	713	-
S-aanvoer (incl. S-leverend vermogen) (kg S/ha)	73	hoog
Magnesium (mg Mg/kg)	46	vrij laag
Natrium (mg Na/kg)	93	op de grens van laag en vrij laag

De voorvruchten op het perceel betroffen:

- 2005: zaaiuien
- 2004: mais
- 2003: vlas
- 2002: aardappelen
- 2001: zaaiuien.

Het beschikbare perceel heeft een totale lengte van 495 m (incl. kopakkers) en een breedte van 144 m. Het zuidelijk deel van het perceel met een lengte van ca. 95 m ligt iets hoger en hier traden geen of minder problemen op met wateroverlast.

In 2006 is op het perceel zomergerst verbouwd. De intentie was om tijdens de oogst van de gerst een plaatselijke opbrengstbepaling te doen met een maaidorser die was uitgerust met GPS en online-opbrengstbepaling. Dit is echter niet gelukt. Wel is er een biomassakaart beschikbaar op basis van een satellietfoto van juni 2006 (zie bijlage 1). Hierop bleek de gewasgroei met name op de westelijke helft van het perceel achter te blijven, met uitzondering van ca. 95 m aan de zuidkant en ca. 80 m aan de noordkant van het perceel.

## 2.2 Proefobjecten en indeling proefveld

### 2.2.1 Diepe grondbewerkingen

Op het middelste, slechtere deel van het perceel zijn vier blokken aangelegd van 80 m lengte en 144 m breedte (zie bijlage 2). In elk blok is een afzonderlijke diepe grondbewerking uitgevoerd op 17 oktober 2006 onder droge veldomstandigheden. Er is voor gekozen de grondbewerkingsobjecten in enkelvoud aan te leggen op grote oppervlakten om het perceel niet teveel te “versnipperen”.

De grondbewerkingsobjecten betreffen:

- woelen met een gewone woelpoot;
- woelen met een combiplot;
- spitten;
- onbehandeld (geen diepe grondbewerking).

De gewone woelpoot betrof een woeler van het merk Cappon (figuur 1) met zeven woelpoten op een onderlinge afstand van 75 cm (werkbreedte van 5,25 m). Onderaan de woelpoten zaten 30 cm brede beitels.



Figuur 1. **Gewone woelpoot (Cappon)**

De combiplot van Agrisem (figuur 2) is een woeler met een afwijkende, asymmetrische vorm van de beitels (figuur 3). De gebruikte woeler had vier woelpoten op een onderlinge afstand van 75 cm (werkbreedte van 3 m). De beitels waren 33 cm breed.

De combiplot tilt de grond over de volle breedte op en legt deze weer terug. De grond breekt daardoor, maar de bouwvoor wordt zo min mogelijk verstoord.

De spitmachine (merk Imants, werkbreedte 3 m) mengt de grond intensief en maakt deze geheel los (figuur 3).





Figuur 2a. **Combiplow**



Figuur 2b. **Beitel van de combi**





Figuur 3. Spitmachine

Aangezien de verdichte laag zich tussen de 25 en 40 cm bevond en de grond daaronder niet was verdicht (zie paragraaf 3.1), is gewoeld tot  $\pm 45$  cm diepte. Bij het spitten werd een diepte bereikt van 43 cm. De gewoelde proefblokken zijn op 8 november 2006 geploegd; het gespitte proefblok is niet geploegd.

Naast het onbehandeld object op het slechtere deel van het perceel is ook het hoger gelegen, betere deel aan de zuidkant van het perceel in de proef betrokken als een onbehandelde referentie waar geen of weinig problemen optraden met wateroverlast. Dit deel wordt in het vervolg van dit rapport aangeduid als Onbehandeld-Zuid en het onbehandeld object op het slechtere deel van het perceel als Onbehandeld-Noord.

Op 2 november 2007 zijn de drie grondbewerkingen nog een keer uitgevoerd op de strook van 80 m aan de noordkant van het perceel (buiten het proefveld) om een beter beeld te krijgen van het effect op de bodem. De bewerkingen vonden dit keer plaats onder tamelijk natte omstandigheden.

### 2.2.2 Gewasrotaties

Dwars over de grondbewerkingsobjecten zijn in 2007 en 2008 drie verschillende gewasrotaties heengelegd in twee herhalingen. De rotaties betroffen:

4. tweejarige teelt van luzerne
5. wintertarwe in 2007 en suikerbieten in 2008
6. consumptieaardappel in 2007 en zaaiui in 2008

Elke rotatie kwam in combinatie met elke grondbewerking voor, waardoor de proef 15 objecten omvatte en 30 velden. Het proefveldschema is weergegeven in bijlage 2.

Rotatie 1 is een diep wortelende maaivrucht, rotatie 3 bestaat uit twee opeenvolgende, ondiep wortelende rooivruchten en rotatie 2 uit twee opeenvolgende, diep wortelende gewassen, waarvan één maaivrucht en één rooivrucht.

In de tussenjaren 2007 en 2008 is van de geteelde gewassen per veld de opbrengst en de sortering bepaald. De kwaliteit is niet gemeten. De gewassen zijn geteeld volgens praktijk van het proefbedrijf van PPO-AGV.

De luzerne is op 22 april 2006 gezaaid (ras: Sanditi), vermengd met een kleine hoeveelheid klaver. In 2006 is één snede geoogst, op 6 augustus. In 2007 zijn vier snedes geoogst, op 19 mei, 23 juni, 24 juli en 1 september. Per veldje is van 15 m<sup>2</sup> de opbrengst bepaald. Uit het gemaaid product is een monster genomen voor drogestofbepaling, waarna de drogestofopbrengst is berekend. De luzerne is op 9 oktober 2008 doodgespoten.

De wintertarwe van 2007 is op 8 november 2006 gezaaid (ras: Drifter). De tarwe is op 6 augustus 2007 geoogst. Per veldje is van 15 m<sup>2</sup> de opbrengst bepaald. Na de oogst van de wintertarwe lukte het niet meer om nog een groenbemester te zaaien, omdat het land te nat was.

De consumptieaardappelen van 2007 zijn op 19 april gepoot (ras: Maritiema) en op 19 september geoogst. Per veldje is de opbrengst bepaald van 15 m<sup>2</sup> en de sortering.

De suikerbieten van 2008 zijn op 18 april gezaaid (ras: Shakira) en op 23 september 2008 geoogst. Per veldje is van 5 m<sup>2</sup> de opbrengst bepaald en het percentage grondtarra. Verder is de vertakking van de bieten beoordeeld.

De zaaiuien van 2008 zijn op 17 april gezaaid (ras: Hyfield) en op 1 september geoogst. Per veldje is de opbrengst bepaald van 22,5 m<sup>2</sup> en de sortering.

In 2009 is op het gehele proefveld op 2 april weer zomergerst gezaaid als toetsgewas (ras: Tipple) om een beeld te krijgen van het effect van de grondbewerkingen en de gewassenrotaties. Echter, omdat dit voorvruchteffect deels of geheel een stikstofeffect kan zijn (stikstofnawerking uit de luzernestoppel en het bietenloof) zijn binnen elk van de 30 (hoofd)velden vier subvelden met stikstoftrappen aangelegd: 0, 30, 60 en 90 kg N/ha. Deze subvelden zijn binnen de hoofdvelden verlost. Voorafgaand aan de teelt is op 16 maart per voorvrucht een Nmin-monster 0-60 cm gestoken.

De gerst is op 3 augustus geoogst. Per subveldje is van 18 m<sup>2</sup> de opbrengst bepaald. Het graanlaboratorium van Agrifirm heeft het eiwitgehalte bepaald met behulp van de NIT-methode (infraroodmeting), het percentage volgerst (korrels groter dan 2,5 mm) en het percentage doorval (korrels kleiner dan 2,2 mm). Het stikstofgehalte in de gerstkorrels is berekend door het eiwitgehalte door 6,25 te delen.

Het effect van de grondbewerkingen en de voorvruchten is beoordeeld door de korrelopbrengst van de gerst uit te zetten tegen de N-opname in de korrel. Hieruit kan worden afgeleid of verschillen in opbrengst tussen de objecten een stikstofeffect betreffen of een andere oorzaak hebben.

De resultaten zijn statistisch geanalyseerd met het softwareprogramma Genstat. Er is een variantie-analyse toegepast, een tweezijdige t-toets en regressie-analyse. Aangezien de diepe grondbewerkingen in enkelvoud zijn aangelegd, is het niet mogelijk om te beoordelen of verschillen hiertussen statistisch significant zijn. Voor de rotaties is dat wel mogelijk alsook voor de interactie van rotatie met grondbewerkingsobject.

### 2.2.3 Bodemmetingen en -waarnemingen

Op 21 juni 2006 is (in de gerst) op zo'n 150 plekken verdeeld over het perceel de indringingsweerstand gemeten tot 80 cm –mv met een penetrometer (figuur 4) om een beeld te krijgen van de plaats en diepte van eventuele verdichtingen/storende lagen. Er is via een zigzag-patroon over het perceel gelopen en op elke plek zijn twee metingen vlak naast elkaar gedaan. De bovengrond was op het moment van meten vrij droog.

Verder heeft Alterra op verschillende plaatsen op het perceel grondboringen verricht om een indruk te krijgen van de profielopbouw en de bodemstructuur. Op basis van deze boringen, de penetrometingen en de actuele gewasstand is een slechte plek uitgezocht op het perceel waar twee profielkuilen zijn gegraven, een kuil vlak naast een drain en een kuil midden tussen twee drains. In de kuilen is het bodemprofiel beoordeeld en zijn ringmonsters genomen om de dichtheid van de bodem onder de bouwvoor te meten.

Na de oogst van de zomergerst in 2006 is de weerstand van de bodem van het perceel in kaart gebracht door in de spuitsporen met een woelpoot door de grond te trekken tot 45 cm diepte. De trekkracht die hiervoor nodig was, is plaatsspecifiek met GPS-aanduiding vastgelegd. De spuitsporen lagen op de scheiding van de gewasrotatie (zie bijlage 2) en behoorden tot het bruto deel van de proef. Hier zijn naderhand geen verdere waarnemingen, metingen of opbrengstbepalingen gedaan.



Figuur 4. **Meting van de indringingsweerstand van de bodem met een (digitale) penetrometer**

Op 30 mei 2007 en 27 augustus 2007 is per grondbewerkingsobject de indringingsweerstand van de bodem gemeten met een penetrometer à 10 metingen per veldje (60 metingen per object).

In de jaren 2007-2009 zijn de grondbewerkingsobjecten na hevige regenval beoordeeld op natheid en plasvorming en is de gewasontwikkeling visueel beoordeeld.

Op 9 juli 2007 heeft Alterra bij de verschillende grondbewerkingsobjecten de infiltratiesnelheid van water in de grond gemeten (figuur 5). Op 22 augustus 2007 heeft Alterra het bodemprofiel en de worteling beoordeeld in de aardappelen en ringmonster genomen voor bepaling van de dichtheid van de bodem, het poriënvolume en het luchtgehalte. Op 17 en 22 oktober 2007 zijn ringmonsters genomen op 25-35 cm diepte voor bepaling van de doorlatendheid van met water verzadigde grond (Ksat). De infiltratiesnelheid en Ksat geven aan hoe snel het water in of door de grond kan stromen en zijn een maatstaaf voor de structuur van de grond. Bij een slechte doorlatendheid treedt sneller plasvorming op.

Op 22 mei 2008 zijn profielkuilen gegraven in de beide herhalingen van luzerne bij het object Onbehandeld-Noord om de worteling van de luzerne te beoordelen.



Figuur 5. **Meting van de infiltratiesnelheid van water in de bodem**

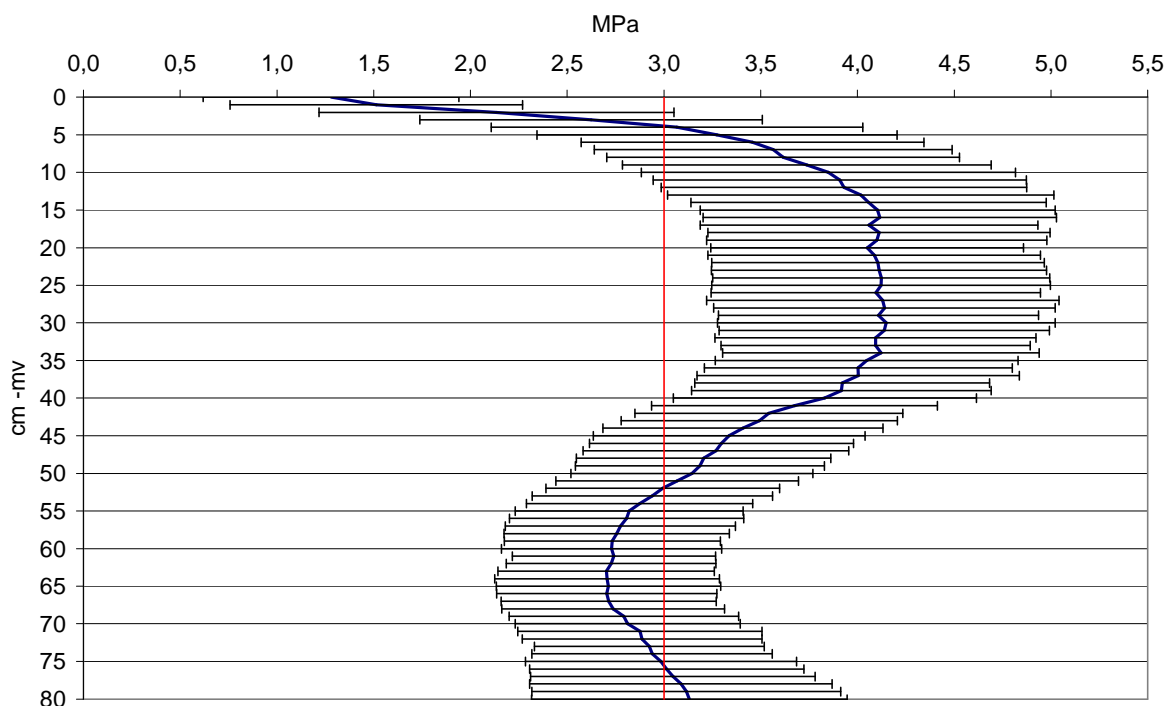


## 3 Resultaten

### 3.1 Beoordeling proefveld in 2006

In figuur 6 is de gemiddelde indringingsweerstand van het proefperceel weergegeven, gemeten op 21 juni 2006, uitgedrukt in megapascal (MPa). De horizontale balken in de grafiek geven de standaardafwijking aan (een maatstaf voor de spreiding van de individuele metingen). De verticale lijn geeft de kritische bovengrens voor wortelgroei aan van 3 MPa (Wiersum & A. Reijmerink, 1992). De indringingsweerstand dient echter normaal te worden gemeten in een veldvochtige grond. Daarvan was geen sprake. Met name de bouwvoor was vrij droog, wat resulteert in een hogere indringingsweerstand. In de ondergrond was de indringingsweerstand het hoogst tussen de 25 en 35 cm –mv. Dieper in de ondergrond nam de weerstand af.

In de profielkuilen bleek dat tussen de 26 en 40 cm –mv een verdichte laag zat, waarin blauwe plekken aanwezig waren (wat duidt op zuurstofloze omstandigheden als gevolg van verdichting). Onder deze verdichte laag was de ondergrond niet verdicht en redelijk goed indringbaar voor plantenwortels.



Figuur 6. Gemiddelde indringingsweerstand van de bodem van het proefveld, gemeten op 21 juni 2006

In bijlage 3 is de indringingsweerstand op het proefveld van de laag 26-40 cm –mv weergegeven, de hoogste gemeten dichtheid in de laag 26-80 cm –mv (per 5 cm bodemlaag) en de diepte waarop deze maximale dichtheid is gemeten. De gemiddelde dichtheid in de laag 26-40 cm –mv was het hoogste op het noordelijk deel en in het midden van het perceel. Ook de hoogste gemeten dichtheid in de laag 26-80 cm –mv kwam voor op het noordelijk deel en in het midden van het perceel. De hoogste gemeten dichtheid zat aan de westkant van het perceel dieper dan aan de oostkant.

Het resultaat van de trekkrachtmeting met een woelpoot tot 45 cm –mv in september 2006 is weergegeven in bijlage 4. Het beeld van de trekkrachtmeting kwam niet overeen met dat van de penetrometingen in juni. De trekkracht (c.q. bodemweerstand) was het hoogste in het noordoostelijk deel van het perceel en op een stuk aan de zuidkant van het perceel.

Verder stemden de beide bodemmetingen niet overeen met de biomassakaart van de gerst (zie bijlage 1). Aangezien de verschillende bodemmetingen en de gewasstand van de gerst geen eenduidig beeld opleverden van het perceel, zijn de verschillende diepe grondbewerkingen niet op specifieke, geselecteerde delen van het perceel uitgevoerd, maar zijn de plaatsen van uitvoering op het perceel aselect gekozen.

In de profielkuil vlakbij een drain bedroeg de gemeten dichtheid van de grond  $1,62 \text{ g/cm}^3$  op 25-30 cm -mv en  $1,63 \text{ g/cm}^3$  op 30-35 cm -mv. In de kuil tussen de drains was dat  $1,48$  respectievelijk  $1,62 \text{ g/cm}^3$ . Dit zijn vrij hoge waarden. Dichtheden groter dan  $1,6 \text{ g/cm}^3$  beperken de beworteling (Hidding en van den Berg, 1961, van der Valk en de Haan, 1971, 1974).

Het luchtgehalte in de grond bij veldcapaciteit (pF 2,0) bedroeg 7% op 25-30 cm -mv en 5% op 30-35 cm -mv in de kuil bij de drain. In de kuil tussen de drains was dat 9% respectievelijk 5%. Dat zijn lage waarden. In nattere grond dan veldcapaciteit zijn de luchtgehalten nog lager. Luchtgehalten onder de 10% beperken de beworteling.

## 3.2 Visuele beoordeling effect diepe grondbewerkingen

### 3.2.1 Effect op de bewerkte grondlaag

De Cappon-woeler tilde de grond op, waardoor deze brak. Daarna viel de grond weer terug op zijn plaats, in zijn oorspronkelijke zetting. Er vond geen verplaatsing of kering van kluiten of brokken grond plaats. De grond was na het woelen merkbaar lossier (vanaf maaiveld tot woeldiepte). Echter, na berijden met een trekker c.q. aandrukken was de grond onder het wielspoor weer even vast als de onbewerkte grond. Bij het graven van profielkuilen was in de profielkuilwand niet zichtbaar waar de woelpoten door de grond waren getrokken. Er was geen grondverstoring meer zichtbaar.

De combi-plow tilde de bouwvoor op en legde deze weer terug. Er ging a.h.w. een golf door de bouwvoor. Ook hier brak de grond en viel weer terug op zijn plaats, in zijn oorspronkelijke zetting en vond er geen verplaatsing of kering van kluiten of brokken grond plaats. De bouwvoor was na het woelen nauwelijks lossier dan de onbewerkte grond en bij graven van profielkuilen kwamen grotere kluiten/brokken grond naar boven dan bij de Cappon. Wel was de grond duidelijk lossier op de diepte waar de beitels van de woelpoten door de grond waren gegaan. Op de plek waar de beitel precies door de grond was gegaan, werd bij het graven van profielkuilen soms een gang/tunnel gevuld met losse grond gevonden. Voor het overige was niet zichtbaar waar de woelpoten door de grond waren getrokken c.q. was geen grondverstoring zichtbaar. Bij het spitten werd de gehele laag vanaf maaiveld tot spitdiepte intensief door elkaar gemengd. De grond was na het spitten duidelijk lossier (vanaf maaiveld tot spitdiepte). In oktober 2006 was de grond droog en in november 2007 tamelijk nat. In 2006 werd bij het spitten meer volume/lucht in de grond gebracht en kwam deze ook duidelijk hoger te liggen dan de onbewerkte grond. In 2007 trad dit effect niet op.

### 3.2.2 Effect op wateroverlast op het perceel

In de oktober t/m december 2006 viel een vrij normale hoeveelheid neerslag voor de periode van het jaar. Januari 2007 was zeer nat en ook februari en maart waren natter dan normaal. De neerslaggegevens zijn weergegeven in bijlage 5.

In de herfst van 2006 was de bovengrond bij het gespitte object natter dan bij de andere grondbewerkingsobjecten. Men zakte hier dieper met de laarzen in de grond c.q. modder weg. In de wintertarwe trad bij het gespitte object beduidend meer wateroverlast op dan bij de andere objecten. In de herhaling aan de westkant van het perceel (veldje 28; zie bijlage 2) trad flinke plasvorming op (figuur 7). Dit betrof een wat lagere plek in het perceel. Ook bleef het water in de wielsporen van de trekker en zaaimachine staan en vermoedelijk is er veel water via deze sporen naar de lage plek toegestroomd. Die lagere plek besloeg echter ook een klein deel van het aangrenzend onbehandeld object (dat was geploegd) en van de gespitte, nog niet ingezaaide grond ernaast en hier trad nauwelijks plasvorming op. De wateroverlast is waarschijnlijk een gevolg van slempvorming als gevolg van de combinatie van spitten en zaaibedbereiding voor de tarwe, waardoor de grond te fijn is gemaakt.





Figuur 7. **Plasvorming (30 november 2006) in de wintertarwe na spitten**

In de natte januarimaand verergerde de plasvorming en bleef in februari en maart onverminderd groot. Ook bij de overige groundbewerkingsobjecten kwam in de westelijke herhaling op het perceel nu water in de rijsporen tussen de tarwerijen te staan, behalve bij Onbehandeld-Zuid. Tussen de twee woelobjecten en Onbehandeld-Noord was er geen duidelijk zichtbaar verschil qua wateroverlast.

Verder viel in januari 2007 op dat de drains op het zuidelijk deel van het perceel goed liepen (bij Onbehandeld-Zuid en de beide woelobjecten en dat op het noordelijk deel het water minder snel uit de drainbuizen stroomde (bij Onbehandeld-Noord en het gespitte object).

De wintertarwe tarwe in de westelijke herhaling op het gespitte deel (veldje 28) was na de winter grotendeels verzopen. Op de verzopen plekken is op 6 april 2007 zomertarwe ingezaaid (ras: Lavet).

In de maanden mei en juni 2007 viel veel regen en in juli viel extreem veel (zie bijlage 5). Er trad in juli op het gehele proefveld wateroverlast op, behalve bij Onbehandeld-Zuid (het hogere deel van het perceel). De rest van het perceel was zeer nat, zowel de westelijke als de oostelijke helft. Bij de aardappelen stond het water tussen de ruggen en in de luzerne was het pleksgewijs drassig. Een voorzichtige indruk was dat het veld bij woelen met de Cappon en spitten iets natter was dan bij het combiplot-object en Onbehandeld-Noord. Verder trad meer wateroverlast/plasvorming op de lagere plekken binnen het perceel.

Op Onbehandeld-Zuid stond geen water tussen de aardappelruggen en was het niet drassig. Ook viel op dat de drains hier beter liepen. Het is echter niet aan te geven of de wateroverlast een gevolg was van een slecht functionerende drainage op het overig deel van het perceel of dat de drains er minder goed liepen door een slechtere waterdoorlatendheid van de grond.

Overigens trad ook op andere percelen van het proefbedrijf van PPO-AGV wateroverlast op in o.a. aardappelen en uien. De situatie op het proefperceel week in dat opzicht niet af van het algemeen beeld op het land na de hevige regenval in juli

De herfst van 2007 was droog. In december viel een normale hoeveelheid neerslag en januari 2008 was natter dan normaal (bijlage 5). Evenals in de vorige winter was in de winter van 2007/2008 de westelijke helft van het perceel natter dan de oostelijke helft.

Bij woelen met de Cappon en spitten was de grond zeer nat (plasvorming) en zakte men tot de enkels in de blubber weg. Bij het daartussen gelegen object Onbehandeld-Noord was de grond minder nat, alsook bij het combiplot-object. Bij het Onbehandeld-Zuid was de grond het minst nat.

Op de op de kopakker aan de Noordkant van het perceel, waar 2 november 2007 de diepe groundbewerkingen waren herhaald, was de bewerkte grond, zowel na woelen met de Cappon als de combiplot als na spitten, natter en had minder draagkracht dan de onbewerkte grond.

De drains liepen op het gehele perceel goed en er was in deze geen zichtbaar verschil tussen het noordelijke en zuidelijke deel van het perceel.

Maart 2008 was zeer nat. Desondanks viel de wateroverlast op het proefperceel mee. Wel waren de lager gelegen plekken op het noordwestelijk deel van het perceel (bij het gespit object en Onbehandeld-Noord) natter dan de rest. Ook op sommige praktijkpercelen trad (pleksgewijs) wateroverlast op.

Juli en augustus 2008 waren eveneens natte maanden, maar er trad geen wateroverlast op. Weliswaar was de bovengrond vochtig, maar er waren geen duidelijk verschillen tussen de grondbewerkingsobjecten.

De herfst van 2008 was nat. Er trad wederom sterke plasvorming op het perceel, met name op de lager gelegen delen op de westelijke helft. In de lage plek bij het gespitte object was de plasvorming het sterkst. De winter van 2008/2009 was droger dan normaal, maar desondanks bleef het perceel zeer nat. Het stond in februari zelfs blank. Er zijn toen op meerdere plaatsen greppels gefreesd om het water naar de sloot af te voeren. De drains liepen overigens allemaal.

T.a.v. de voorvrucht was de grond in maart het natste na de uien en het droogste na de luzerne. Het uienveldje op westelijke helft op het gespitte deel (veldje 29, zie bijlage 2) was het natste (plasvorming) en vervolgens het uienveldje bij Onbehandeld-Noord (veldjes 23). Ook het uienveldje bij woelen met de Cappon (veldje 17) was nog vrij nat.

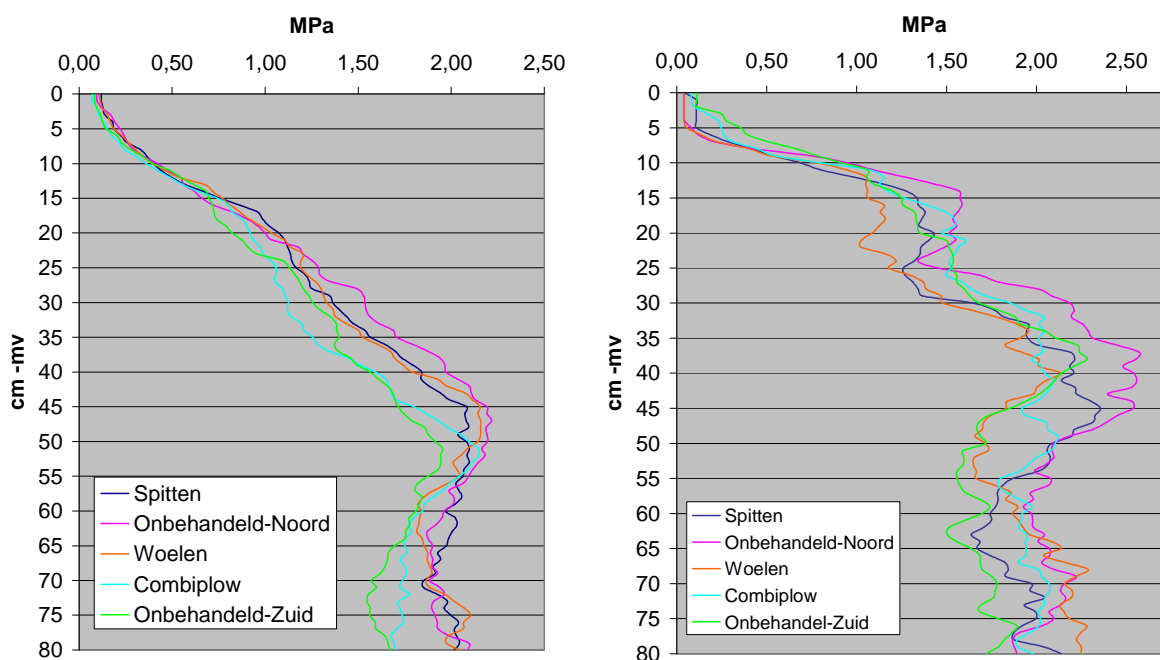
De 2<sup>e</sup> helft van mei 2009 en juli 2009 waren ook natte maanden. Qua natheid van de bovengrond waren er geen zichtbare verschillen tussen de grondbewerkingsobjecten. De grond was overal vochtig, maar er trad geen wateroverlast op.

### 3.3 Bodembeoordeling na de diepe grondbewerkingen

De bodembeoordelingen in 2007 zijn uitgevoerd door Alterra en verslagen door Van de Akker & De Groot (2008) in Alterra-rapport 1450. Het betreffende onderdeel van het Alterra-rapport dat ingaat op deze proef te Lelystad, is integraal overgenomen in bijlage 6. In deze paragraaf staan de bevindingen op hoofdlijnen.

#### 3.3.1 Indringingsweerstand en dichtheid van de bodem

De indringingsweerstand is op 30 mei 2007 gemeten in vochtige grond en ook bij de meting op 27 augustus 2007 was de grond nog vrij vochtig. De indringingsweerstand bleef overal onder de kritische bovengrens voor beworteling van 3,0 MPa (figuur 8). Bij meting in een vochtige grond leek de indringingsweerstand dus geen beperkende factor te zijn voor de beworteling.



Figuur 8. Gemiddelde indringingsweerstand van de bodem per grondbewerkingsobject, gemeten op 30 mei 2007 (links) en 27 augustus 2007 (rechts)

De indringingsweerstand van de ondergrond (beneden 25 cm –mv) was op beide momenten het hoogst bij het object Onbehandeld-Noord. Met name op 27 augustus kwam hier het effect van de verdichting tussen 25 en 40 cm duidelijk naar voren: de indringingsweerstand nam hier sterk toe en onder deze laag weer af. Bij Onbehandeld-Zuid was de weerstand in de laag 25-40 cm –mv ook hoger dan dieper in de ondergrond, maar de weerstand was hier in vrijwel de gehele ondergrond lager dan bij Onbehandeld-Noord. De diepe grondbewerkingen leken enige verbetering te hebben gegeven vergeleken met Onbehandeld-Noord, maar niet vergeleken met Onbehandeld-Zuid.

De dichtheid van de grond op 27-32 cm –mv, was bij de objecten combi-plow, woelen met de Cappon en Onbehandeld-Noord vergelijkbaar: rond de 1,6 g/cm<sup>3</sup>. Bij Onbehandeld-Zuid was de dichtheid iets lager: 1,5 g/cm<sup>3</sup> en bij het gespit object zat het er tussenin.

Het luchtgehalte van de grond was net onder de bouwvoor (gemeten op 27-32 cm –mv en 37-42 cm –mv) lager dan dieper in de ondergrond (gemeten op 47-52 cm –mv). De luchtgehalten net onder de bouwvoor bij veldcapaciteit (pF 2,0) waren bij alle objecten lager dan 8% (ook bij Onbehandeld-Zuid). Echter ook onderin de bouwvoor (gemeten op 17-22 cm –mv) waren de luchtgehalten bij veldcapaciteit bij alle objecten laag (<10%).

Op 27-32 cm –mv was er een effect van de diepe grondbewerkingen: de luchtgehalten waren bij zowel woelen met de Cappon, als de combi-plow als spitten wat hoger dan bij Onbehandeld-Noord en Onbehandeld-Zuid. Tussen de drie diepe-grondbewerkingsobjecten was er geen duidelijk verschil. De luchtgehalten van de twee onbehandelde stroken waren zo goed als gelijk. Op 37-42 cm –mv was er geen duidelijk effect van de diepe grondbewerkingen op het luchtgehalte.

Op 7 mei 2009 is (vanuit een ander project) de indringingsweerstand gemeten in de westelijke herhaling van object Onbehandeld-Noord. De grond was op dat moment droog. Tussen de 30 en 40 cm –mv varieerde de weerstand van 4 tot 5 MPa (de Leeuw, 2009). In de laag van 50 tot 80 cm –mv bedroeg de weerstand tussen de 3 en 4 MPa en in de bouwvoor verliep het van ca. 1 tot 2,5 MPa.

### 3.3.2 Infiltratiesnelheid en verzadigde doorlatendheid

De infiltratiesnelheid van water was op het perceelsdeel Onbehandeld-Zuid aanmerkelijk hoger dan op de rest van het perceel. Bij het aangrenzende combi-plow-object (zie bijlage 2) was de snelheid hoger dan bij woelen met de Cappon, Onbehandeld-Noord en spitten. Bij de laatste drie objecten was de infiltratiesnelheid erg laag. Het is niet duidelijk of de hogere snelheid bij het combi-plow-object daadwerkelijk een gevolg is van de diepe grondbewerking. Mogelijk was de stroming tijdens de metingen nog niet constant door onvoldoende verzadiging van het profiel.

De meetresultaten van de verzadigde doorlatendheid stemden beperkt overeen met de gemeten infiltratiesnelheden. De doorlatendheid van met water verzadigde grond op 25-35 cm –mv was bij alle objecten slecht (ook bij Onbehandeld-Zuid). Enkel bij het gespitte object werd bij één van de drie metingen een goede doorlatendheid gevonden.

### 3.3.3 Beworteling aardappelen en luzerne

#### **Aardappelen 2007**

De effectieve bewortelingsdiepte (80-90% van de wortels) bedroeg bij alle behandelingen ca. 30 cm. De diepe grondbewerkingen hadden de effectieve beworteling niet verbeterd.

In het bodemprofiel was het volgende groeiseizoen van het woelen niets meer zichtbaar (augustus 2007).

#### **Luzerne 2008**

Luzerne vormt een diepgaande penwortel met zijwortels. Het gewas kan de bodem intensief doorwortelen (van der Schans, 1998). Een diepe, intensieve beworteling kan de bodemstructuur verbeteren.

Op 22 mei 2008 is de beworteling van de luzerne bij Onbehandeld-Noord beoordeeld. Op zowel de westelijke als oostelijke herhaling (zie bijlage 2) stelde de beworteling teleur. De penwortels hadden een lengte van gemiddeld slechts 20 cm (met een spreiding van 10 tot 35 cm). De zijwortels gingen wel dieper, maar naar schatting bevond 80-90% van de wortelmasse zich in de bouwvoor. De bouwvoor was redelijk intensief doorworteld, maar de zijwortels waren dun ( $\pm 1$  mm dikte).

Onder de bouwvoor werd een dunne schelpenlaag aangetroffen (op 25-30 cm diepte) en vervolgens de stugge, verdichte laag tot ca. 45 cm –mv. In die laag werden weinig wortels aangetroffen. De penwortels van de luzerne waren er niet in doorgedrongen. Onder de storende laag was de grond losser en zachter en leken er iets meer (zij)wortels aanwezig, maar beduidend minder dan in de bouwvoor. De maximale worteldiepte bedroeg ca 70 cm in de oostelijke herhaling en ca. 60 cm in de westelijke herhaling. Beneden de 60-70 cm diepte was de grond flink vochtig, maar niet zuurstofloos (er was geoxideerd ijzer aanwezig). Verder viel op dat de bouwvoor uit klei met grote bonkige, scherpblokkige structurelementen bestaat met een slechte kruimelstructuur en dat er weinig wormen in de grond zaten.

### 3.4 Gewasgroei en opbrengst in 2007 en 2008

In 2007 waren er in de wintertarwe op de oostelijke herhaling geen duidelijk zichtbare verschillen in gewasontwikkeling tussen de grondbewerkingsobjecten. Op de westelijke herhaling stond de tarwe minder goed op de plekken waar in de winter plasvorming optrad of water tussen de tarwerijen in de rijsporen stond. In de aardappelen en luzerne traden in beide herhalingen geen zichtbare verschillen op in (bovengrondse) gewasontwikkeling tussen de objecten. Ondanks de wateroverlast op het perceel in de natte zomer, gingen de aardappelen niet rotten. In september bleef het loof van de aardappelen bij Onbehandeld-Zuid twee à drie weken langer groen.

In het voorjaar en de zomer van 2008 waren er geen zichtbare verschillen in gewasontwikkeling van de bieten, uien en luzerne tussen de grondbewerkingsobjecten. Eind augustus traden er in de westelijke herhaling wel verschillen op in de uien. Het loof van de uien was op dat moment aan het strijken en afsterven. Bij Onbehandeld-Zuid was er nog meer groen loof aanwezig dan op de rest van het proefveld. Tussen woelen met de Cappon en met de combiplot was er geen duidelijk verschil in loofafsterving. Op de overgang van het combiplot-object naar Onbehandeld-Noord was het loof van de uien op enkele plekken geheel afgestorven. Dit betrof een natter (lager) stuk in het perceel. Bij het gespitte object kwamen in de uien geen natte plekken met afgestorven loof voor.

De opbrengsten van de gewassen zijn weergegeven in de tabellen 2 t/m 6. De wintertarweopbrengst in 2007 van veldje 28 is bepaald op klein deel van dit veldje waar de tarwe niet was verzopen. Omdat de diepe grondbewerkingen niet in herhalingen zijn uitgevoerd, is het niet mogelijk om een uitspraak te doen over de statistische betrouwbaarheid van verschillen tussen de grondbewerkingsobjecten.

De knolopbrengst van de aardappelen in 2007 was op Onbehandeld-Zuid een stuk hoger dan bij de overige objecten en de knolsortering was er wat grover (tabel 2). Op Onbehandeld-Noord was de opbrengst wat hoger dan bij de diepe grondbewerkingen. Tussen de drie diepe-grondbewerkingsobjecten was er niet of nauwelijks verschil in opbrengst.

De uitval tijdens het sorteren was bij woelen met de Cappon hoger dan bij de andere objecten. Dit verschil trad op in de westelijke herhaling: 9% uitval versus 1% bij de andere objecten. In de oostelijke herhaling waren er nauwelijks verschillen in uitval tussen de objecten. Ook het opbrengstpercentage <40 mm was in de westelijke herhaling bij woelen met de Cappon met 14% hoger dan bij de andere objecten (5-9%). Het aantal geoogste knollen per ha verschilde weinig tussen de objecten.

Tabel 2. **Opbrengst en sortering consumptieaardappelen 2007**

Grondbewerking	Knolopbrengst (ton/ha)		Uitval <sup>1</sup>	Sortering <sup>2</sup>			Aantal knollen per ha x1000
	Bruto	Netto >40 mm		<40 mm	40-70 mm	>70 mm	
Onbehandeld-Zuid	70	67	1%	4%	79%	17%	585
Woelen – combiplot	51	46	2%	7%	89%	4%	546
Woelen – Cappon	51	43	6%	10%	86%	4%	585
Onbehandeld-Noord	55	50	2%	7%	89%	4%	574
Spitten	51	47	1%	8%	88%	4%	557

<sup>1</sup> percentage van de bruto-opbrengst

<sup>2</sup> percentage van de netto-opbrengst

I.t.t. de aardappelopbrengst was de opbrengst van de wintertarwe in 2007 op Onbehandeld-Zuid wat lager dan bij de overige objecten (tabel 3). T.o.v. Onbehandeld-Noord was de opbrengst bij de diepe grondbewerkingen niet of niet wezenlijk hoger.

Tabel 3. **Opbrengst wintertarwe 2007**

Grondbewerking	Korrelopbrengst (ton/ha;15% vocht)
Onbehandeld-Zuid	5,6
Woelen – combiplot	5,9
Woelen – Cappon	6,4
Onbehandeld-Noord	6,3
Spitten	6,1

Ook de opbrengst van de zaaiuien in 2008 was op Onbehandeld-Zuid lager dan bij de overige objecten (tabel 4). T.o.v. Onbehandeld-Noord was de opbrengst bij de diepe grondbewerkingen niet hoger. T.a.v. het percentage rotte uien leek er een verloop in het perceel aanwezig: het nam van noord naar zuid op het perceel toe.

Tabel 4. **Opbrengst en sortering zaaiuien 2008**

Grondbewerking	Uienopbrengst (ton/ha)		Rot <sup>1</sup>	Sortering <sup>2</sup>			
	Bruto	Netto		<40 mm	40-60 mm	40-60 mm	>80 mm
Onbehandeld-Zuid	44	41	7%	4%	57%	39%	0%
Woelen – combiplot	52	49	6%	4%	66%	29%	<1%
Woelen – Cappon	58	56	4%	3%	49%	47%	1%
Onbehandeld-Noord	58	56	3%	3%	51%	45%	1%
Spitten	56	54	2%	5%	58%	37%	<1%

<sup>1</sup> percentage van de bruto-opbrengst

<sup>2</sup> percentage van de netto-opbrengst

De opbrengst van de suikerbieten in 2008 was bij de diepe-grondbewerkingsobjecten hoger dan die op de onbehandelde stroken (tabel 5). De opbrengst op Onbehandeld-Zuid en Onbehandeld-Noord was gelijk. De opbrengst was bij woelen met de Cappon iets lager dan die bij woelen met de combiplot en spitten. Indien alleen het contrast tussen 'Onbehandeld' en 'Bewerkt' wordt beschouwd, kunnen de twee onbehandelde stroken als herhalingen worden gezien en de drie bewerkte stroken ook. Op basis van een tweezijdige t-toets was de gemiddelde opbrengst bij 'Onbehandeld' dan significant lager dan die bij 'Bewerkt'. Het percentage grondtarra was bij de beide woelobjecten lager dan dat bij Onbehandeld. Bij spitten zat het ertussenin.

Op Onbehandeld-Zuid kwamen in beide herhalingen iets vertakte bieten voor, op Onbehandeld-Noord niet. In de westelijke herhaling van woelen met de Cappon kwamen ook iets vertakte bieten voor, in alle overige veldjes niet. Het voorkomen van vertakte bieten viel niet duidelijk samen met de proefobjecten.

Tabel 5. **Netto wortelopbrengst suikerbieten 2008**

Grondbewerking	Bietenopbrengst (ton/ha)	Grondtarra
Onbehandeld-Zuid	87	13%
Woelen – combiplot	96	8%
Woelen – Cappon	93	8%
Onbehandeld-Noord	87	12%
Spitten	97	10%

De drogestofopbrengst van de luzerne in 2007 was na woelen wat hoger dan die op de ernaast gelegen onbehandelde stroken (tabel 6). In de westelijke herhaling van het gespitte object (veldje 30; zie bijlage 2) bleef de opbrengst sterk achter: 3,1 ton droge stof per ha versus 7,1 ton/ha in de oostelijke herhaling. De vermoedelijke oorzaak van die lage opbrengst is de natheid in de winter van 2006/2007 en/of in de zomer van 2007 (zie paragraaf 3.2.2). Opmerkelijk is echter dat het niet is opgevallen aan het gewas.

In het tweede groei-jaar (2008) was de drogestofopbrengst van de luzerne bij de diepe grondbewerkingen niet hoger dan die bij de onbehandeld. Als bij het gespitte object in 2007 alleen van de opbrengst in de oostelijk herhaling wordt uitgegaan, was de opbrengst over beide jaren samen bij de diepe grondbewerkingen (gemiddeld 21,1 ton d.s. per ha) iets hoger dan die bij onbehandeld (20,6 ton d.s. per ha) en waren de opbrengstverschillen tussen de grondbewerkingsobjecten onderling gering.

Tabel 6. **Droge-stofopbrengst luzerne 2007-2008**

Grondbewerking	Luzerne-opbrengst (ton droge stof per ha)		
	2007 <sup>1</sup>	2008 <sup>2</sup>	2007+2008
Onbehandeld-Zuid	7,1	13,8	20,9
Woelen – combiplot	8,0	13,1	21,2
Woelen – Cappon	7,3	13,6	21,0
Onbehandeld-Noord	6,3	14,1	20,4
Spitten	5,1 <sup>3</sup>	13,9	19,1 <sup>4</sup>

<sup>1</sup> één snede

<sup>2</sup> vier snedes

<sup>3</sup> 7,1 ton/ha indien de lage opbrengst in de westelijke herhaling buiten beschouwing wordt gelaten

<sup>4</sup> 21,0 ton/ha indien de lage opbrengst van 2007 in de westelijke herhaling buiten beschouwing wordt gelaten

In tabel 7 zijn per gewas de relatieve opbrengsten weergegeven. Daarbij is de gemiddelde opbrengst per gewas op 100 gesteld. De gewasopbrengsten geven geen eenduidig beeld van het effect van de diepe grondbewerkingen. De opbrengstverschillen tussen de grondbewerkingsobjecten wisselden per teelt.

Tabel 7. **Relatieve gewasopbrengsten**

Grondbewerking	Aardappel	Wintertarwe	Zaaiui	Suikerbiet	Luzerne		Gemiddeld <sup>4</sup>	
	2007 <sup>1</sup>	2007	2008 <sup>2</sup>	2008	2007 <sup>3</sup>	2008		
Onbehandeld-Zuid	131	93	79	94	105	(99)	101	100 (100)
Woelen – combiplot	92	97	96	104	119	(112)	96	101 (100)
Woelen – Cappon	86	105	109	101	109	(102)	99	102 (101)
Onbehandeld-Noord	99	104	109	95	93	(87)	103	100 (100)
Spitten	92	101	107	105	76	(99)	102	97 (101)

<sup>1</sup> op basis van netto-opbrengst >40 mm

<sup>2</sup> op basis van netto-opbrengst

<sup>3</sup> tussen haakjes: de relatieve opbrengsten indien de lage luzerneopbrengst in de westelijke herhaling van het gespitte object buiten beschouwing wordt gelaten

<sup>4</sup> tussen haakjes: de relatieve opbrengsten indien de lage luzerneopbrengst van 2007 in de westelijke herhaling van het gespitte object buiten beschouwing wordt gelaten

Tussen de oostelijke en westelijke herhaling op het perceel kwam geen eenduidig verschil naar voren t.a.v. de gewasopbrengst. In welke herhaling de opbrengst het hoogste was, verschilde per gewas/jaar en binnen een gewas weer eens per grondbewerkingsobject. Gemiddeld over de gewasrotaties, was de opbrengst op Onbehandeld-Zuid en de combiplot-strook in de westelijke herhaling wat hoger dan in de oostelijke. Bij de overige drie objecten was de opbrengst in de oostelijke herhaling wat hoger dan in de westelijke herhaling (tabel 8).

Tabel 8. **Relatieve opbrengsten per grondbewerkingsobject per herhaling, gemiddeld over de rotaties/jaren**

Grondbewerking	Herhaling		Herhaling (excl. veldje 30) <sup>1</sup>	
	Oost	West	Oost	West
Onbehandeld-Zuid	94	107	94	105
Woelen – combiplot	98	103	97	102
Woelen – Cappon	104	99	103	98
Onbehandeld-Noord	102	98	101	98
Spitten	103	91	102	100

<sup>1</sup> relatieve opbrengsten indien de lage luzerneopbrengst van 2007 in de westelijke herhaling van het gespitte object buiten beschouwing wordt gelaten

## 3.5 Gewasgroei en opbrengst zomergerst in 2009

### Nmin na de winter

In tabel 9 is de Nmin-voorraad 0-60 cm weergegeven die na de winter is gemeten na de verschillende voorvruchten.

Tabel 9. **Nmin 0-60 cm na de winter in 2009**

Voorvrucht	Nmin0-60
Luzerne	24
Suikerbiet	29
Zaaiui	14

### Gewasstand

In tabel 10 is de beoordeling van de gewasstand op 2 juni 2009 weergegeven. De hoogte van de stikstofgift had veel sterker effect op de gewasstand dan de voorvrucht of het grondbewerkingsobject. Een hogere N-gift leidde tot een betere gewasstand.

Gemiddeld over de rotaties was de stand bij Onbehandeld-Zuid iets beter dan op de rest van het perceel. Tussen Onbehandeld-Noord en de drie diepe grondbewerkingen was er nauwelijks verschil in gewasstand. Gemiddeld over de grondbewerkingsobjecten was de gewasstand na de voorvruchten aardappel-zaaiui iets slechter dan na luzerne en tarwe-biet. Dit verschil was echter niet significant. Tussen de laatste twee genoemde voorvruchtcombinaties c.q. rotaties was er nagenoeg geen verschil in gewasstand.

Tabel 10. **Beoordeling gewasstand van de zomergerst op 2 juni 2009 (rapportcijfer)**

Bewerking	Voorvrucht 2007-2008	N-gift (kg N/ha)			
		0	30	60	90
Onbehandeld-Zuid	tweejarige luzerne	4,0	6,0	7,5	8,5
	wintertarwe – suikerbiet	4,5	6,0	7,5	9,0
	aardappel – zaaiui	4,5	6,0	7,5	9,0
Onbehandeld-Noord	tweejarige luzerne	3,5	5,5	7,0	8,5
	wintertarwe – suikerbiet	3,5	5,0	7,0	9,0
	aardappel – zaaiui	3,0	4,5	6,5	8,5
Woelen (Cappon)	tweejarige luzerne	4,0	5,0	6,5	8,5
	wintertarwe – suikerbiet	4,0	5,0	6,5	8,5
	aardappel – zaaiui	3,0	5,0	6,0	8,0
Combiplow	tweejarige luzerne	3,5	5,0	7,0	9,0
	wintertarwe – suikerbiet	3,5	5,0	7,0	9,0
	aardappel – zaaiui	3,0	5,0	7,0	7,5
Spitten	tweejarige luzerne	4,5	5,5	7,5	9,0
	wintertarwe – suikerbiet	3,0	5,0	7,0	9,0
	aardappel – zaaiui	3,0	5,0	6,0	8,5

### Korrelopbrengst

In tabel 11 is de gerstopbrengst per object weergegeven. De opbrengst steeg bij alle objecten bij toename van de stikstofgift.

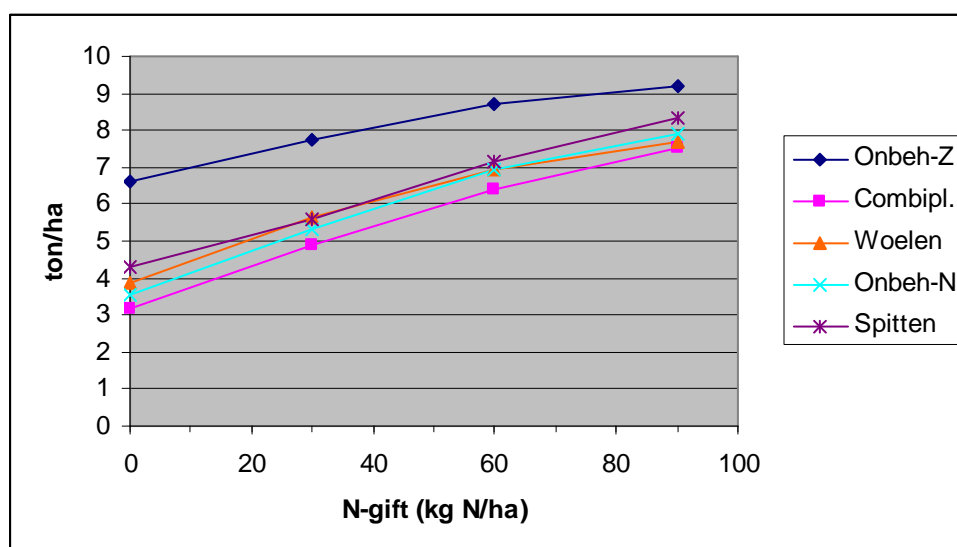
Gemiddeld over de rotaties was de opbrengst bij Onbehandeld-Zuid duidelijk hoger dan op de rest van het perceel (figuur 9). Het opbrengstverschil was bij lage N-gift groter dan bij hoge N-gift, ofwel de responscurve was iets vlakker dan op de rest van het perceel. Het opbrengstverschil tussen Onbehandeld-Noord en de drie diepe grondbewerkingen was klein. De opbrengst bleef bij het combiplow-object wat achter (figuur 9). Omdat de grondbewerkingen slechts in enkelvoud zijn uitgevoerd, is niet aan te geven of dit verschil statistisch significant is.

Er was een significante interactie tussen rotatie en grondbewerkingsobject. Bij Onbehandeld-Zuid was er geen wezenlijk opbrengstverschil tussen de drie rotaties, terwijl op de rest van het proefveld de gerstopbrengst na aardappel-zaaiui het laagste was en na luzerne het hoogste (figuur 10).

Bij Onbehandeld-Zuid waren de opbrengst in de oostelijke en westelijke herhaling zo goed als gelijk. Op de rest van het perceel was de opbrengst in de westelijke herhaling gemiddeld 18% lager dan die in de oostelijke herhaling.

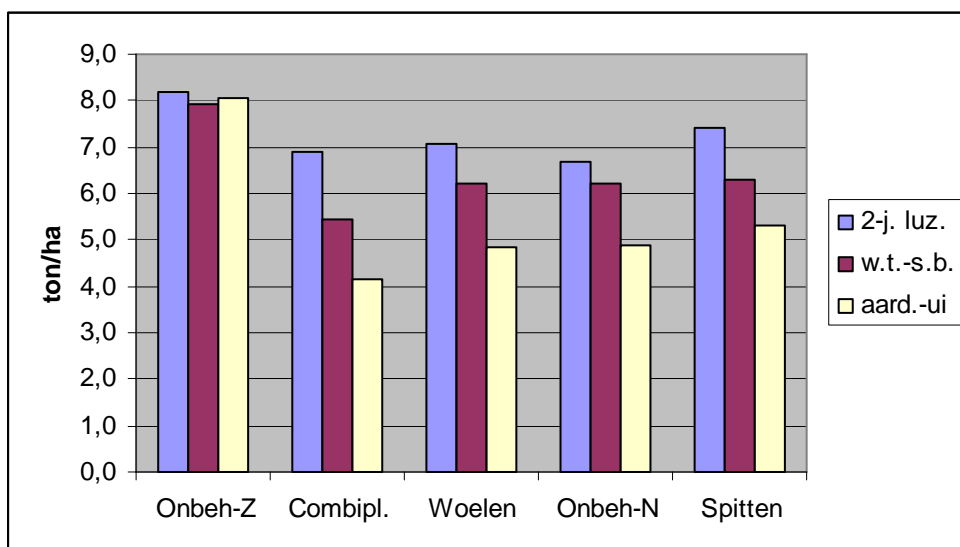
Tabel 11. **Korrelopbrengst zomergerst 2009 per object (ton/ha, 15% vocht)**

Bewerking	Voorvrucht 2007-2008	N-gift (kg N/ha)			
		0	30	60	90
Onbehandeld-Zuid	tweejarige luzerne	6,5	8,3	8,8	9,2
	wintertarwe – suikerbiet	6,2	7,3	9,0	9,3
	aardappel – zaaiui	7,1	7,6	8,4	9,2
Onbehandeld-Noord	tweejarige luzerne	4,3	6,2	7,5	8,7
	wintertarwe – suikerbiet	3,7	5,6	7,4	8,2
	aardappel – zaaiui	2,5	4,2	5,9	6,9
Woelen (Cappon)	tweejarige luzerne	5,5	6,2	8,2	8,3
	wintertarwe – suikerbiet	3,9	5,7	7,1	8,2
	aardappel – zaaiui	2,3	5,0	5,6	6,6
Combiplow	tweejarige luzerne	4,5	6,1	8,0	9,0
	wintertarwe – suikerbiet	3,2	4,8	6,2	7,6
	aardappel – zaaiui	1,8	3,8	5,1	5,9
Spitten	tweejarige luzerne	5,8	6,7	8,1	9,0
	wintertarwe – suikerbiet	4,3	5,6	7,1	8,2
	aardappel – zaaiui	2,8	4,4	6,2	7,7



Figuur 9. **Gerstopbrengst 2009 per grondbewerkingsobject, gemiddeld over de rotaties**





Figuur 10. Gerstopbrengst 2009 per rotatie en grondbewerking, gemiddeld over de N-trappen

### Eiwitgehalte

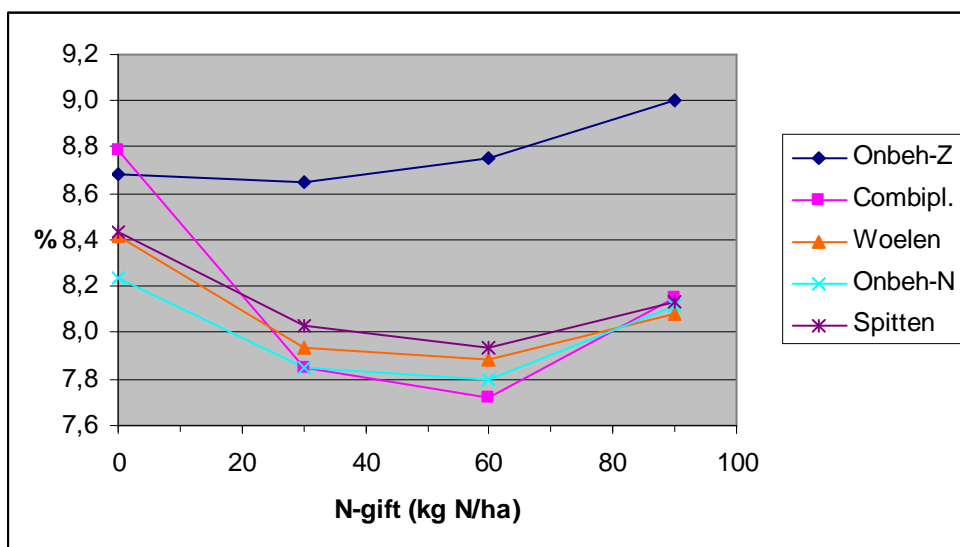
In tabel 12 is het eiwitgehalte (bepaald door graanlaboratorium van Agrifirm met de NIT-methode) per object weergegeven. De eiwitgehalten waren laag in de proef.

Gemiddeld over de rotaties was het gehalte bij Onbehandeld-Zuid duidelijk hoger dan dat op de rest van het perceel en ook de respons van het eiwitgehalte op de N-gift was anders (figuur 11). Ook tussen de drie diepe-grondbewerkingsobjecten en Onbehandeld-Noord waren er verschillen in respons op de N-gift. Dit betrof een significant interactie-effect.

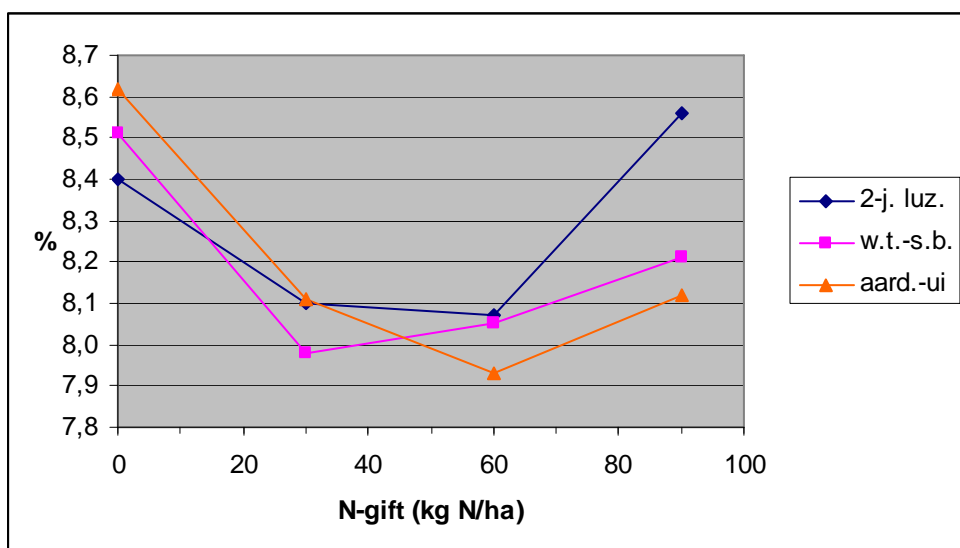
Verder verschilde de respons van het eiwitgehalte op de N-gift tussen de drie rotaties (figuur 12). Ook dit betrof een significant interactie-effect.

Tabel 12. Eiwitgehalte (%) zomergerst 2009 per object

Bewerking	Voorvrucht 2007-2008	N-gift (kg N/ha)			
		0	30	60	90
Onbehandeld-Zuid	tweejarige luzerne	8,5	8,6	8,5	9,1
	wintertarwe – suikerbiet	8,3	8,5	8,9	8,8
	aardappel – zaaiui	9,3	9,0	8,9	9,2
Onbehandeld-Noord	tweejarige luzerne	8,2	7,8	7,9	8,3
	wintertarwe – suikerbiet	8,2	8,0	7,6	8,0
	aardappel – zaaiui	8,4	7,9	8,0	8,2
Woelen (Cappon)	tweejarige luzerne	8,6	7,9	8,1	8,5
	wintertarwe – suikerbiet	8,5	8,0	7,9	8,1
	aardappel – zaaiui	8,2	8,0	7,7	7,7
Combiplow	tweejarige luzerne	8,6	8,1	7,8	8,7
	wintertarwe – suikerbiet	9,1	7,8	8,0	8,1
	aardappel – zaaiui	8,7	7,7	7,5	7,7
Spitten	tweejarige luzerne	8,2	8,3	8,2	8,3
	wintertarwe – suikerbiet	8,5	7,8	7,9	8,2
	aardappel – zaaiui	8,6	8,1	7,7	8,0



Figuur 11. Eiwitgehalte zomergerst 2009 per grondbewerkingsobject, gemiddeld over de rotaties



Figuur 12. Eiwitgehalte zomergerst 2009 per rotatie, gemiddeld over de grondbewerkingsobjecten

### Volgerst en doorval

Het percentage volgerst zat bij alle objecten in de proef boven de 96% en de verschillen tussen de objecten waren klein. Het gemiddelde volgerstpercentage voor de gehele proef was 98%. Het percentage doorval was bij alle objecten in de proef minder dan 1%.

### Stikstofopname in de korrel

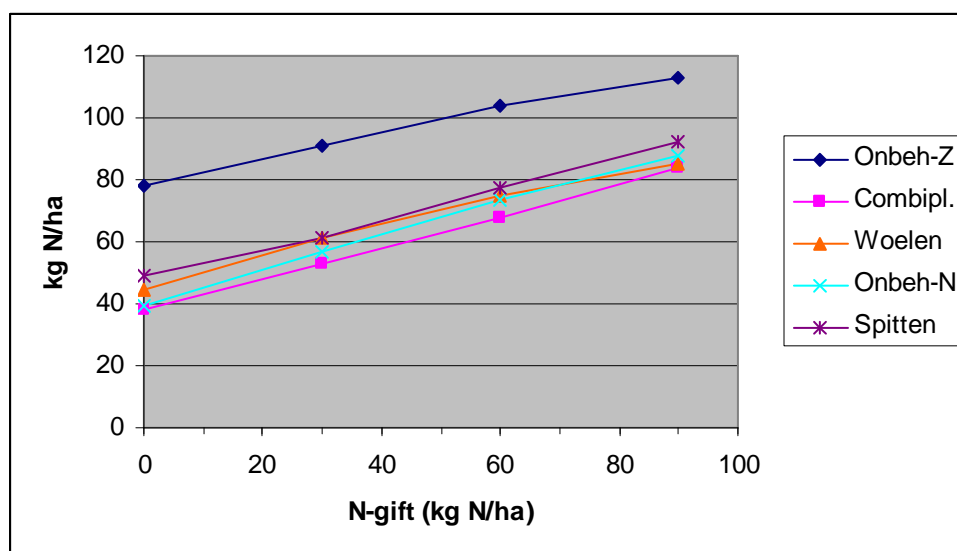
De stikstofopname per ha in de korrel is berekend door de drogestofopbrengst aan korrels te vermenigvuldigen met het eiwitgehalte en te delen door 6,25. In tabel 13 is de berekende N-opname per object weergegeven.

De stikstofopname nam lineair toe bij verhoging van de N-gift met een niveauverschil tussen de grondbewerkingsobjecten (figuur 13). Gemiddeld over de rotaties was de opname bij Onbehandeld-Zuid duidelijk hoger dan die op de rest van het perceel. Het verschil tussen Onbehandeld-Noord en de drie diepe grondbewerkingen was klein. De opname bleef bij het combiplot-object wat achter. Per kg toegediende stikstof nam de N-opname in de korrel met 0,54 kg N/ha toe bij Onbehandeld-Noord, met 0,45 kg N/ha bij woelen met de Cappon, met 0,51 kg N/ha bij woelen met de combiplot en met 0,49 kg N/ha bij het

gespitte object. Het is niet aan te geven of deze verschillen significant zijn, maar bij de diepe grondbewerkingen nam de N-opname per kg toegediende stikstof in elk geval niet sterker toe dan bij Onbehandeld-Noord. Bij Onbehandeld-Zuid was de N-opname per kg toegediende stikstof lager dan op de rest van het perceel (gemiddeld 0,39 kg N/ha).

Tabel 13. **Stikstofopname zomergerst 2009 in de korrel per object (kg N/ha)**

Bewerking	Voorvrucht 2007-2008	N-gift (kg N/ha)			
		0	30	60	90
Onbehandeld-Zuid	tweejarige luzerne	76	97	101	113
	wintertarwe – suikerbiet	69	84	109	111
	aardappel – zaaiui	90	92	102	114
Onbehandeld-Noord	tweejarige luzerne	48	66	81	97
	wintertarwe – suikerbiet	41	61	76	89
	aardappel – zaaiui	29	45	63	77
Woelen (Cappon)	tweejarige luzerne	64	67	90	96
	wintertarwe – suikerbiet	45	61	76	90
	aardappel – zaaiui	25	55	58	68
Combiplow	tweejarige luzerne	53	67	84	107
	wintertarwe – suikerbiet	39	51	67	83
	aardappel – zaaiui	21	40	51	62
Spitten	tweejarige luzerne	64	76	91	101
	wintertarwe – suikerbiet	49	59	77	91
	aardappel – zaaiui	33	49	66	84



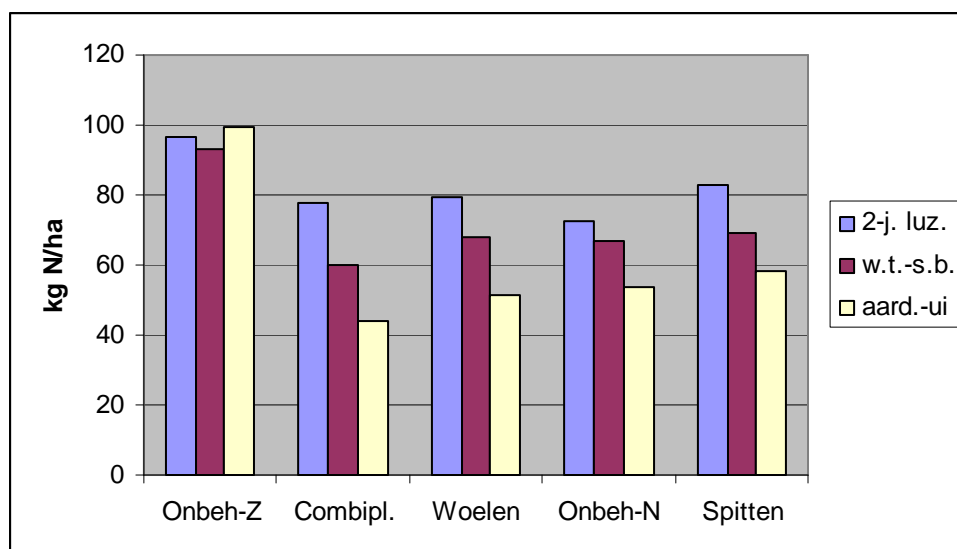
Figuur 13. **N-opname zomergerst 2009 in de korrel per grondbewerkingsobject, gemiddeld over de rotaties**

Evenals bij de korrelopbrengst was er sprake van een significante interactie tussen rotatie en grondbewerkingsobject. Bij Onbehandeld-Zuid was er geen wezenlijk verschil in N-opname tussen de drie rotaties, terwijl op de rest van het proefveld de N-opname na aardappel-zaaiui het laagst was en na luzerne het hoogst (figuur 14). De N-opname na luzerne was hier 27 kg N/ha hoger en na suikerbiet 14 kg N/ha hoger dan na zaaiui (figuur 15). Dit waren significante niveauverschillen. De N-opname per kg toegediende stikstof (ofwel de richtingscoëfficiënt van de N-opnamecurve) was bij alle drie de rotaties gelijk: 0,50.

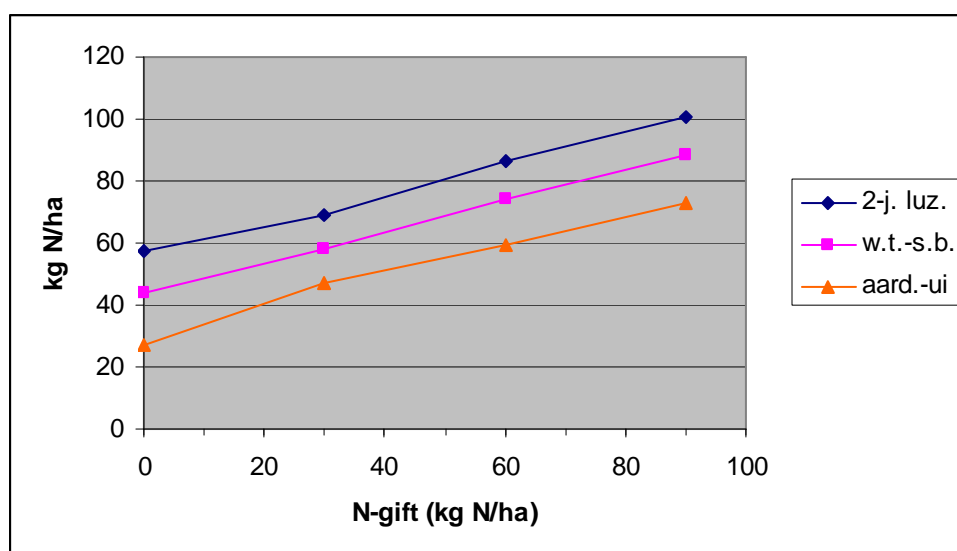
T.o.v. voorvrucht zaaiui komt de extra N-opname na voorvrucht biet overeen met een berekend verschil van 28 kg N/ha in N-gift en de extra N-opname na voorvrucht luzerne met een berekend verschil van 54 kg N/ha in N-gift. Bij bieten kwam dit voor ruim de helft tot uiting in de hogere N<sub>min</sub>-waarde na de winter (tabel 9) en

bij de luzerne voor bijna 20%. Het verschil in N-opname tussen Onbehandeld-Zuid en de rest van het perceel komt overeen met een berekend verschil in N-gift van 39 kg N/ha na de luzerne, 57 kg N/ha na wintertarwe-suikerbiet en 101 kg N/ha na aardappel-zaaiui.

Bij Onbehandeld-Zuid waren de N-opname in de korrel in de oostelijke en westelijke herhaling zo goed als gelijk. Op de rest van het perceel was de N-opname in de westelijke herhaling gemiddeld 19% lager dan die in de oostelijke herhaling. Dit was een constant niveauverschil bij alle N-giften. De N-opname per kg toegediende stikstof (de richtingscoëfficiënt van de N-opnamecurve) was in beide herhalingen gelijk.



Figuur 14. N-opname zomergerst in de korrel per rotatie en grondbewerking, gemiddeld over de N-trappen

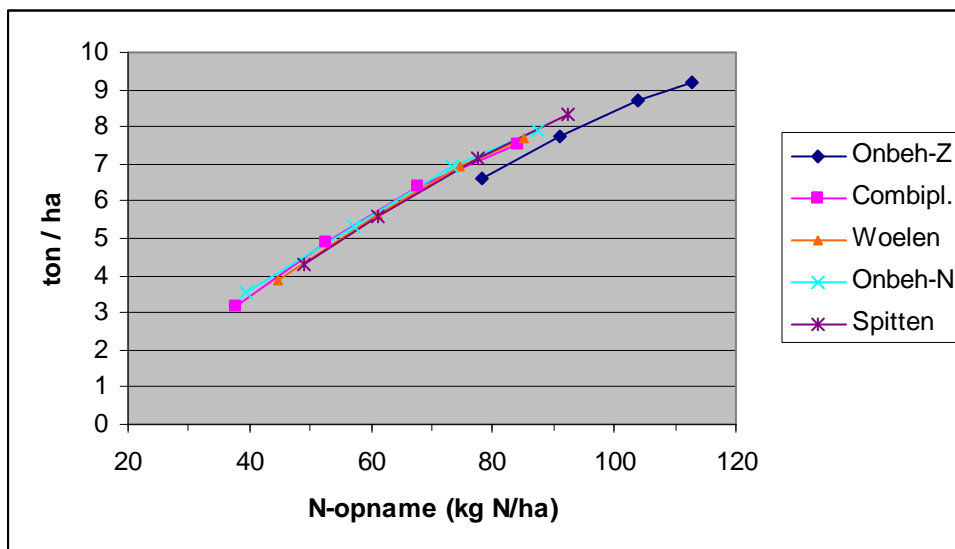


Figuur 15. N-opname zomergerst in de korrel per rotatie, gemiddeld bij Onbehandeld-Noord, woelen, combiplot en spitten

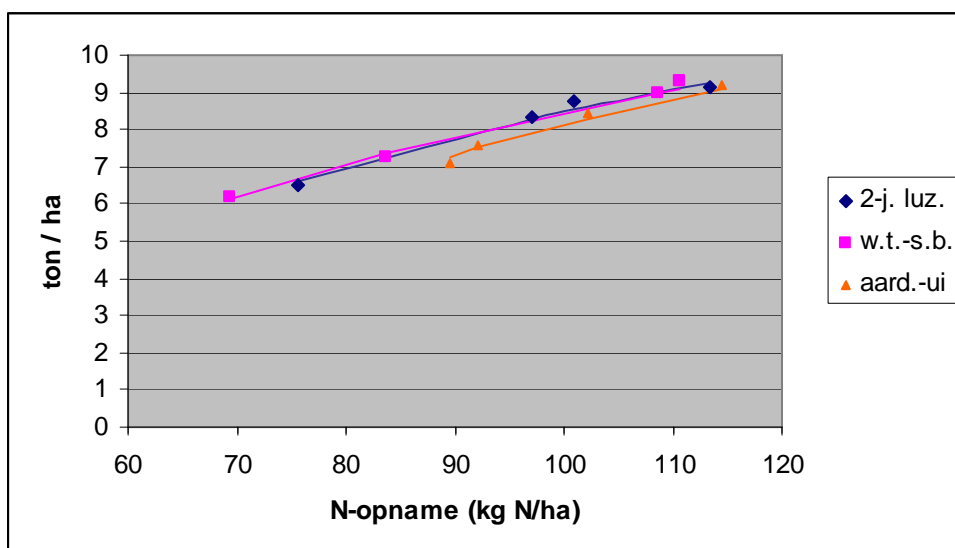
### Korrelopbrengst uitgezet tegen de N-opname

De korrelopbrengst uitgezet tegen de N-opname in de korrel was gemiddeld over de drie rotaties bij Onbehandeld-Zuid lager (figuur 16). Het verschil was bij lagere N-opname iets groter dan bij hogere N-opname. Tussen Onbehandeld-Noord en de drie grondbewerkingsobjecten waren er geen significante verschillen.

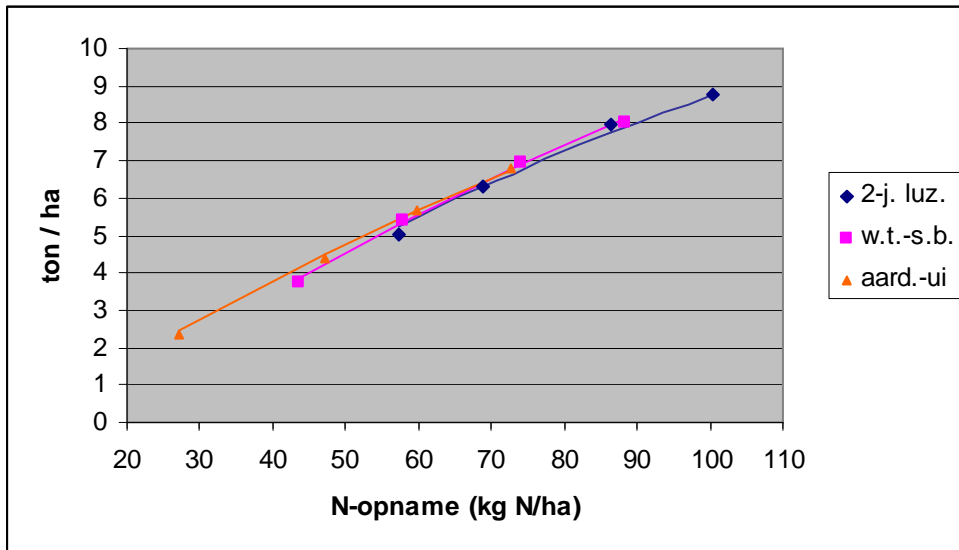
Binnen Onbehandeld-Zuid was de gerstopbrengst na aardappel-ui significant lager (0,4 ton per ha) dan die na luzerne of tarwe-biet (figuur 17). Tussen die laatste twee was er geen significant opbrengstverschil. Op de rest van het proefveld was er geen wezenlijk opbrengstverschil tussen de rotaties (figuur 18). De gemeten opbrengstverschillen tussen de rotaties berusten hier dus op een stikstofeffect. Ook tussen de oostelijke en westelijke herhaling was er geen verschil in korrelopbrengst uitgezet tegen de N-opname in de korrel.



Figuur 16. Korrelopbrengst zomergerst 2009 per groundbewerkingsobject, gemiddeld over de rotaties, uitgezet tegen de N-opname in de korrel



Figuur 17. Korrelopbrengst zomergerst 2009 per rotatie binnen Onbehandeld-Zuid, uitgezet tegen de N-opname in de korrel



Figuur 18. Korrelobbrengst zomergerst per rotatie, gemiddeld over de grondbewerkingsobjecten Onbehandeld-Noord, woelen, combiow en spitten, uitgezet tegen de N-opname in de korrel

## 4 Discussie en conclusies

### **Probleem op het perceel**

De wateroverlast die op het proefperceel optrad, is het gevolg van een verdichte laag onder de bouwvoor op 25-40 cm –mv. Deze laag belemmert de beworteling van het gewas en laat onder natte omstandigheden slecht water door. De dichtheid van de bodem in deze laag zit op de kritische grens waarboven de beworteling wordt beperkt door de dichtheid. Bij het object Onbehandeld-Zuid, het hoger gelegen perceelsdeel waar geen of weinig wateroverlast optrad, is de grond onder bouwvoor eveneens verdicht, maar iets minder erg dan op de rest van het perceel. Ook hier is de waterdoorlatendheid slecht, maar desondanks trad hier geen of minder snel plasvorming op.

Het meten van de indringingsweerstand in drogere grond (juni 2006 en mei 2009) gaf een duidelijker beeld van het knelpunt van de verdichting op het proefperceel en de plaats van de verdichte laag dan het meten in vochtige grond. In vochtige grond lijkt de indringingsweerstand geen belemmering te zijn voor de beworteling, maar deze zal dan echter wel worden beperkt door te lage luchtgehalten in de bodem.

De slechte waterdoorlatendheid hoeft onder droge omstandigheden niet direct tot plasvorming te leiden na forse regenval. Kleigrond krimpt door uitdroging en gaat scheuren. Het water kan via deze scheuren snel in de grond zakken. Als kleigrond nat wordt, gaat deze zwellen. De scheuren in de grond zwellen dan dicht (de Leeuw, 2009). Problemen met wateroverlast zullen dan ook optreden als de grond nat wordt en niet of langzaam droogt c.q. in perioden met een neerslagoverschot. Dit zijn de herfst- en de winterperiode, maar ook extreem natte perioden in de zomer, zoals in die van 2007. In het voorjaar en de zomer verdampt het te velde staande gewas vocht en onttrekt dit aan de bodem, waardoor de grond sneller (uit)droogt en er minder snel wateroverlast optreedt.

### **Effect van de diepe grondbewerkingen en de voorvruchten**

De diepe grondbewerkingen brachten niet of nauwelijks verbetering. Van het woelen was het volgend groeiseizoen niets meer in de bodem zichtbaar. Het woelen maakte de grond weliswaar los, maar de grond viel weer terug op zijn plaats en bleek gemakkelijk her te verdichten. De verdichte laag was na het woelen niet opgeheven. Het spitten maakte de grond zeer los, maar ook hier was in het volgende groeiseizoen weinig meer van te merken. Ook na het spitten leek herverdichting op te treden.

De verdichting leek na de diepe grondbewerkingen iets minder te zijn geworden, maar was nog steeds duidelijk aanwezig. De dichtheid van de grond was nog steeds hoog, het luchtgehalte bij alle behandelingen te laag en de waterdoorlatendheid overwegend slecht.

Het perceel bleef dan ook gevoelig voor wateroverlast, waardoor met name op de lagere plekken snel plasvorming optrad. Het woelen en het spitten leek de wateroverlast zelf eerder iets te hebben verergerd dan te verbeteren, waarschijnlijk door verstoring van de poriën in de bodem waardoor de natuurlijke drainage van de bodem verslechtert.

Dat de diepe grondbewerkingen de structuur van de bodem niet of onvoldoende verbeterden en het wateroverlastprobleem niet verhielpen, stemt overeen met de bevindingen uit eerder onderzoek die in de inleiding van dit rapport zijn genoemd.

Er moet worden gezocht naar diepe grondbewerkingsmethoden die de verdichte laag blijvend breken opdat herverdichting niet gemakkelijk kan optreden, bijvoorbeeld door de gebroken stukken grond te kantelen, waardoor deze niet terug op hun plaats vallen in hun oorspronkelijke zetting. Het gaat dan om technische aanpassingen van de machines, zoals de vorm en de stand van de woelpoten en beitels, de hoek waarmee de woelpoot door de grond getrokken wordt en de afstand tussen de beitels.

Een andere, mogelijk te ontwikkelen methode is om tegelijk met het woelen een mulchlaag van organisch materiaal in de verdichte laag aan te brengen die herverdichting van de grond moet tegengaan.

Soms was er twijfel over het goed functioneren van de drainage op het perceel. Als de drainage niet goed meer functioneert, kan opnieuw draineren c.q. tussendraineren de ontwateringstoestand van een perceel verbeteren. Echter, als de storende, slecht doorlatende laag in de ondergrond niet wordt opgeheven, is maar zeer de vraag in hoeverre tussendraineren de problemen met wateroverlast opheft. Om op die vraag

antwoord te krijgen, zou op het betreffende proefperceel een vergelijking tussen wel of niet tussendraineren kunnen worden gemaakt.

Het effect van de diepe grondbewerkingen op de gewasgroei en -opbrengst in het eerste en tweede jaar na de bewerkingen (2007 en 2008) was niet eenduidig. De resultaten wisselden per gewas. In de rotatie met de ondiep wortelende gewassen leidde het niet tot een betere opbrengst. In de aardappelen (2007) leken de diepe grondbewerkingen de opbrengst zelfs nadelig te hebben beïnvloed ten opzichte van object Onbehandeld-Noord. Dat de opbrengst bij Onbehandeld-Zuid aanmerkelijk hoger was, komt waarschijnlijk omdat hier beduidend minder wateroverlast optrad in de aardappelen, mogelijk ook minder verlies van stikstof door denitrificatie en het gewas enkele weken langer groen bleef dan op de rest van het perceel. In wintertarwe (2007) werd ook geen betere opbrengst gevonden bij de diepe grondbewerkingen, maar in de navolgende suikerbieten in 2008 wel. Ook was met name na het woelen het percentage grondtarra van de bieten lager. Dit is een indicatie voor een betere bodemstructuur. In de luzerne was de drogestof-opbrengst in het eerste groeiseizoen na woelen wat hoger, maar in het tweede groeiseizoen niet. Gemiddelde over alle teelten in 2007 en 2008 was het opbrengstverschil tussen de diepe grondbewerkingen en de onbehandelde stroken miniem.

Het verwachte structuurverbeterende effect van luzerne bleef uit. Het wortelgestel van luzerne bleek niet in staat de verdichte laag onder de bouwvoor te breken. De penwortels drongen er niet in door. Er trad ook geen synergievoordeel op tussen de combinatie van diepe grondbewerking en de teelt van diepwortelende gewassen. Wellicht was de timing tussen diepe grondbewerking (in het najaar) en zaai van de luzerne (in het voorjaar) niet goed: voordat de luzernewortels voldoende waren ontwikkeld om in de ondergrond te dringen, was de grond alweer herverdicht. Om een synergievoordeel te kunnen behalen, moeten na de diepe grondbewerking sneller wortels aanwezig zijn, voordat herverdichting optreedt. De wortels kunnen dan de nog niet-herverdichte laag in groeien en daar de grond verder los maken. Te denken valt aan het uitvoeren van een diepe grondbewerking na de oogst van graan, gevolgd door de zaai van een diepwortelende groenbemester zoals bladrammenas. Op een (biologisch) bedrijf in de NOP is goed ervaring opgedaan met het diepwoelen in tweejarige luzerne. De luzernewortels zitten dan al bij de losgemaakte, storende laag en kunnen daar meteen hun werk doen.

In 2009 was de gewasgroei van de gerst op Onbehandeld-Zuid beter en de korrelopbrengst aanmerkelijk hoger dan die op de rest van het perceel. De opbrengst en stikstofopname van de gerst en het voorvrucht-effect hierop weken op Onbehandeld-Zuid af van de rest van het perceel. Voor een beoordeling van het effect van de diepe grondbewerkingen wordt een vergelijking met Onbehandeld-Noord daarom het meest representatief geacht.

De diepe grondbewerkingen van 2006 gaven in de gerst van 2009 geen betere gewasgroei en ook geen duidelijk hogere korrelopbrengst. Voor zover er verschillen waren tussen de objecten, waren deze een gevolg van verschil in stikstofopname, wellicht als gevolg van variatie in stikstofaanbod c.q. –mineralisatie in de bodem. De rotaties c.q. voorvruchten hadden wel effect op de gerstopbrengst, maar ook dit betroffen stikstofeffecten als gevolg van de stikstofnawerking uit de gewasresten van luzerne en de bieten. Indien de hogere stikstofopname een gevolg was geweest van een betere opname door de gerst van de aanwezige stikstof in de bodem door verbetering van de bodemstructuur, had de N-opname per kg toegediende stikstof hoger moeten zijn. De N-opnameresponsecurve kent dan een steiler verloop c.q. heeft een hogere richtingscoëfficiënt. Hiervan was geen sprake. De richting van de curves was gelijk, enkel was er sprake van een niveauverschil. Dit geeft aan dat het totaal stikstofaanbod in de bodem verschilde, maar dat er geen verschil was in benutting door het gewas van de aanwezige stikstof in de bodem. Ook bij de drie diepe grondbewerkingen nam het gewas de stikstof niet beter op dan bij Onbehandeld-Noord. De opbrengstrespons en de lage eiwitgehalten geven aan dat zelfs de hoogste stikstofgift in de proef (90 kg N/ha) nog suboptimaal was. De eiwitgehalten geven ook een indicatie dat het stikstofaanbod bij Onbehandeld-Zuid hoger was dan dat op de rest van het perceel en dat het na voorvrucht zaai lager was dan na suikerbiet en luzerne.

De gevonden opname van 0,50 kg N/ha per kg toegediende stikstof op de rest van het perceel (excl. Onbehandeld-Zuid) komt overeen met de gemiddelde waarde van 0,51 die ten Berge et al (2002) uit verschillende proeven vaststelden voor brouwergerst bij suboptimaal stikstofaanbod. De benutting door het



gewas de aanwezige stikstof in de bodem op de rest van het perceel was dus niet slecht. De hogere gerstopbrengst op Onbehandeld-Zuid was ook een stikstofeffect. Bij gelijke N-opname was de opbrengst zelfs iets lager dan op de rest van het perceel (het gewas had meer geïnvesteerd in het eiwitgehalte).

Merkwaardig is dat er op Onbehandeld-Zuid, in tegenstelling tot de rest van het perceel, geen wezenlijke verschillen werden gevonden in korrelopbrengst van de gerst en N-opname in de korrel tussen de rotaties en dat de gerstopbrengst na aardappel-zaai hier bij gelijke N-opname iets lager was dan na de overige rotaties. Hiervoor is geen goede verklaring gevonden.

De opbrengstverschillen op het perceel van de gerst in 2009 stemden overeen met de biomassakaart van de gerst in 2006 (bijlage 1). De gewasgroei van de gerst op Onbehandeld-Zuid was beter en de korrelopbrengst aanmerkelijk hoger dan op de rest van het perceel, zonder verschil tussen de oostelijke en westelijke herhaling. Op de rest van het perceel was de gerstopbrengst in de westelijke herhaling lager dan die in de oostelijke herhaling. De resultaten duiden erop dat de opbrengstverschillen van de gerst op het perceel berusten op een verschil in beschikbare stikstof in de bodem. Plaatsspecifiek meer of minder stikstof bemesten zou daarom op dit perceel tot een uniformere gewasgroei en opbrengst van de gerst kunnen leiden.

Opmerkelijk is dat de gewasopbrengst van de in 2007 en 2008 geteelde gewassen op Onbehandeld-Zuid niet altijd hoger was en soms zelfs lager. Ook is opmerkelijk dat het verschil tussen de oostelijke en westelijke herhaling van het perceel bij de 2007 en 2008 geteelde gewassen niet zo duidelijk naar voren kwam als in de gerst. Verder is opmerkelijk dat de opbrengst van de bieten en de luzerne in het eerste jaar wel hoger was na de diepe grondbewerking en die bij de andere gewassen niet. Over de oorzaken hiervan kan men speculeren, maar een directe, aantoonbare verklaring is niet gevonden. Het geeft wel de complexiteit aan van de wisselwerking tussen bodemeigenschappen, gewastype en jaarsinvloed.

Uit de meting van de indringingsweerstand in 2006 (bijlage 3) en de trekkracht (bijlage 4) was niet op te maken dat de bodemstructuur op het westelijk deel van het perceel slechter was. Ook uit de stikstofbenutting door de gerst in 2009 kwam geen verschil naar voren. Wel was de mineralisatie er mogelijk lager en/of de denitrificatie van stikstof hoger.

De verdichting leek op het westelijke deel van het perceel niet erger te zijn dan op het oostelijke deel. Wel zitten er enkele lager gelegen plekken in het westelijk deel, waar sneller wateroverlast optreedt. Goed egaliseren van het perceel kan dit verhelpen.

## **Conclusie**

Op een perceel zavelgrond te Lelystad waar snel wateroverlast optreedt door een verdichte laag onder de bouwvoor (op 25-40 cm –mv), bracht een eenmalige diepe grondbewerking (woelen tot 45 cm diepte of spitten tot 43 cm diepte) geen verbetering. De verdichting leek na de diepe grondbewerkingen iets minder te zijn geworden, maar was nog steeds duidelijk aanwezig en het probleem van wateroverlast werd niet kleiner. Het leidde door de bank genomen ook niet tot een betere gewasopbrengst. Enkel bij suikerbieten werd een positief effect op de opbrengst gevonden.

Het telen van diepwortelende gewassen verbeterde de structuur ook niet. Bij luzerne bleek het wortelgestel niet in staat de verdichte laag te breken. De penwortels drongen er niet in door. Evenmin trad er een synergievoordeel op tussen de combinatie van diepe grondbewerking in het najaar en de teelt van diepwortelende gewassen in het daaropvolgend jaar.

Een verdichting in de ondergrond is niet eenvoudig op te heffen en moet daarom worden voorkomen. Voorkomen is beter dan genezen.

## **Aanbevelingen voor vervolgonderzoek**

Vervolgonderzoek aan verdichting moet zich vooral richten op mogelijkheden in de praktijk om verdichting te voorkomen. Te denken valt aan aanpassing van de mechanisatie maar ook aan (het ontwikkelen van) eenvoudige metingen of waarnemingen om onder nattere omstandigheden het risico van verdichting op een bepaald perceel snel te kunnen beoordelen.

Verder verdient het aanbeveling om onderzoek te doen naar technische verbetering van diepe grondbewerkingsmethoden om de structuur van de ondergrond blijvend te verbeteren c.q. herverdichting te voorkomen.

Een aanbeveling voor de telers is om na diepwoelen meteen naar het effect in de ondergrond te kijken om zichzelf ervan te overtuigen dat de ondergrond inderdaad lossier is gemaakt.

Ten aanzien van de combinatie van diepe grondbewerking en diepwortelende gewassen, verdient het aanbeveling nader te kijken naar de mogelijkheden om een snelle beworteling van de gebroken laag te bewerkstelligen, voordat deze kan herverdichten.

Op percelen waar wateroverlast optreedt als gevolg van verdichting in de ondergrond en waar twijfels zijn over het functioneren van de drainage, zou kunnen worden nagegaan in hoeverre opnieuw draineren c.q. tussendraineren de problemen met wateroverlast opheft.

# Literatuur

Akker, J.J.H. van den & W.J.M. de Groot (2008). Een inventariserend onderzoek naar ondergrondverdichting van zandgronden en lichte zavel. Alterra-rapport 1450, Wageningen, 77 p.

Berge, H.F.M ten, S.L.G.E. Burgers, J.J. Schröder & E.J. Hofstad (2002). 'Partial balance'- regression models for  $N_{\min,H}$ . In: Berge, H.F.M. ten (2002). A review of potential indicators for nitrate loss from cropping and farming systems in the Netherlands. Report 31. Plant Research International, Wageningen, p. 25-60.

Geel, W.C.A. van, P.H.M. Dekker, W.J.M. de Groot & J.J.H. van den Akker (2007). Structuurherstellend vermogen van groenbemesters. Projectrapport 510492. PPO-AGV, Lelystad, 65 p.

Hidding, A.P., C. van den Berg (1961). The relation between pore volume and the formation of root systems in soils with sandy layers. ICW technical bulletin 24, Wageningen.

Kooistra, M.J., J. Bouma, O.H. Boersma and A. Jager (1984). Physical and morphological characterization of undisturbed and disturbed ploughpans in a sandy loam soil. Soil & Tillage Research, 4: 405-417.

Leeuw, B. de (2009). Recovery potential of compacted subsoil's, a case study on loamy and clayey soils in the Netherlands. MSc thesis Land Degradation and Development: ESW 80436. Alterra, Wageningen, 54 p.

Ministerie van Landbouw en Visserij, Directie Akker- en Tuinbouw (1984). Diepe grondbewerkingen en hun effecten. Actualiteiten 32, 35 p.

Schans, D.A. van der (1998). Teelt van luzerne. Teelthandleiding nr. 84. PAV, Lelystad, 55 p.

Valk, G.G.M. van der & F.A.M. de Haan (1971). Invloed van de dichtheid van de grond en van de grondbewerkingsdiepte op de productie van enkele bloembollengewassen. Nota 589, Instituut voor Cultuurtechniek en waterhuishouding, Wageningen.

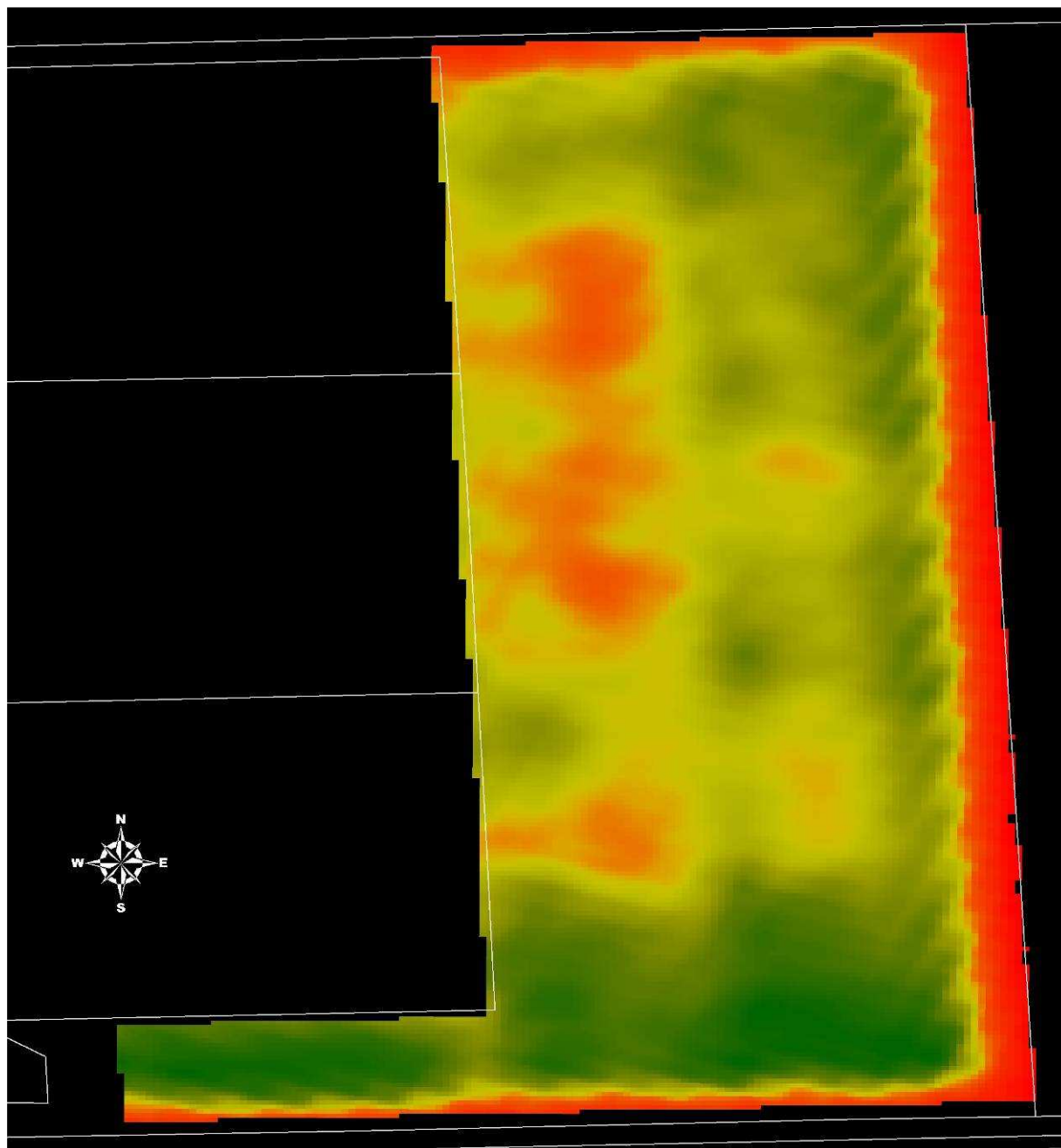
Valk, G.G.M. van der & F.A.M. de Haan (1974). Invloed van bodemverdichting op de productie van bloembollen op duinzandgronden. Rapport 21, LBO Lisse.

Wiersum, L.K. & A. Reijmerink (1992). Beworteling. In: Locher, W.P.M. & H. de Bakker. Bodemkunde van Nederland. Deel 1: Algemene Bodemkunde, 2e druk, 3e oplage, p. 245-267.

Wijk, A.L.M. van & J.R. Willet (1992). Bodemtechniek. In: Locher, W.P.M. & H. de Bakker. Bodemkunde van Nederland. Deel 1: Algemene Bodemkunde, 2e druk, 3e oplage, p. 321-359.



## Bijlage 1. Biomassakaart gerst voorjaar 2006



Biomasskaart van de gerst op het proefperceel op basis van een satellietfoto op 11 juni 2006 (groen = meer biomassa, rood = minder biomassa). De rode banen rechts, boven en onder zijn sloten.

## Bijlage 2. Schema van het proefveld in 2007-2008

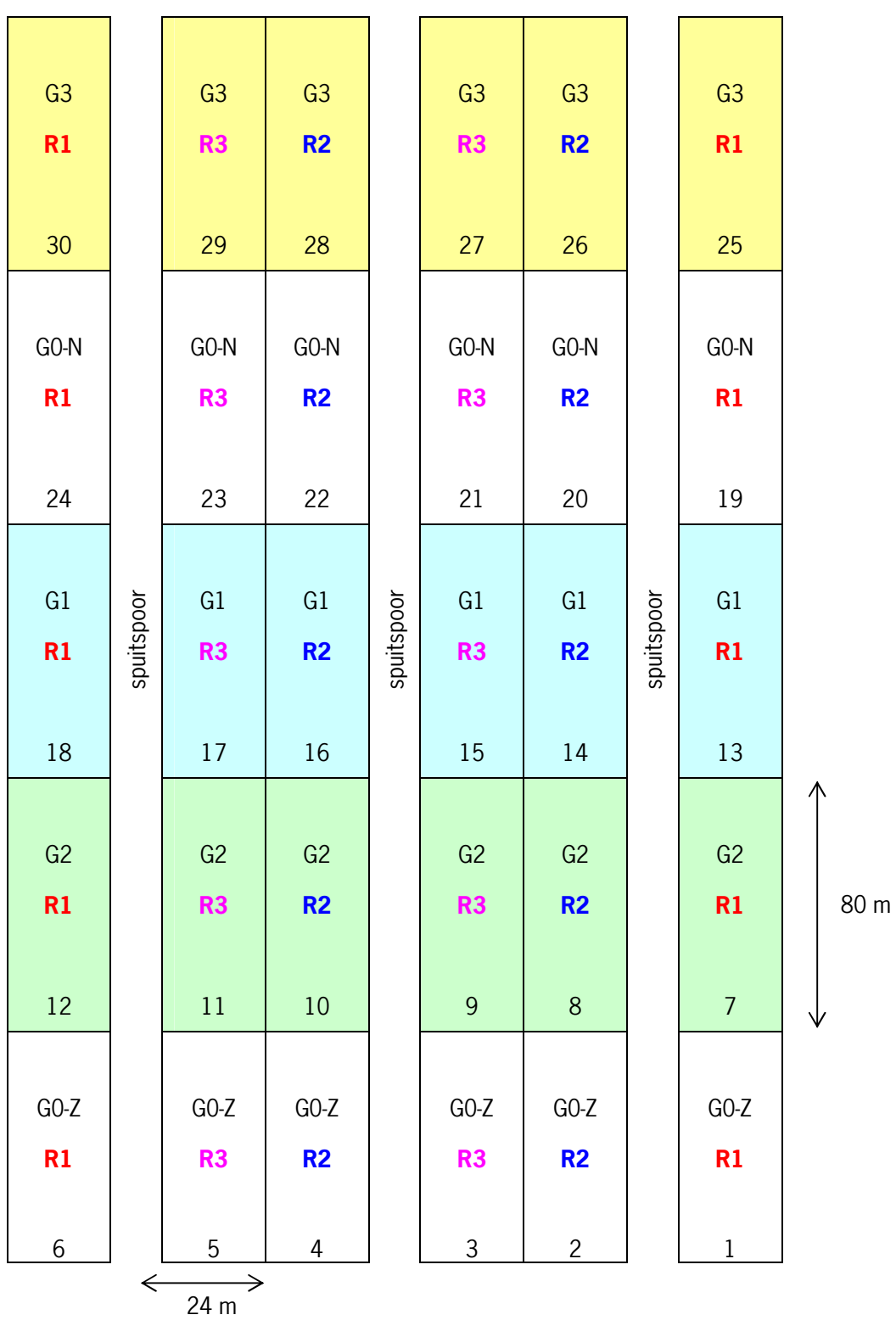
### Toelichting objectcodes:

#### Grondbewerkingen najaar 2006

Code	Omschrijving
G1	woelen met een gewone woelpoot
G2	woelen met een combiplot
G3	spitten
G0	onbehandeld (geen diepe grondbewerking)
	G0-N = onbehandeld noordkant, op het slechte deel van het perceel
	G0-Z = onbehandeld zuidkant, op het hoger gelegen betere perceelsdeel (zonder wateroverlast)

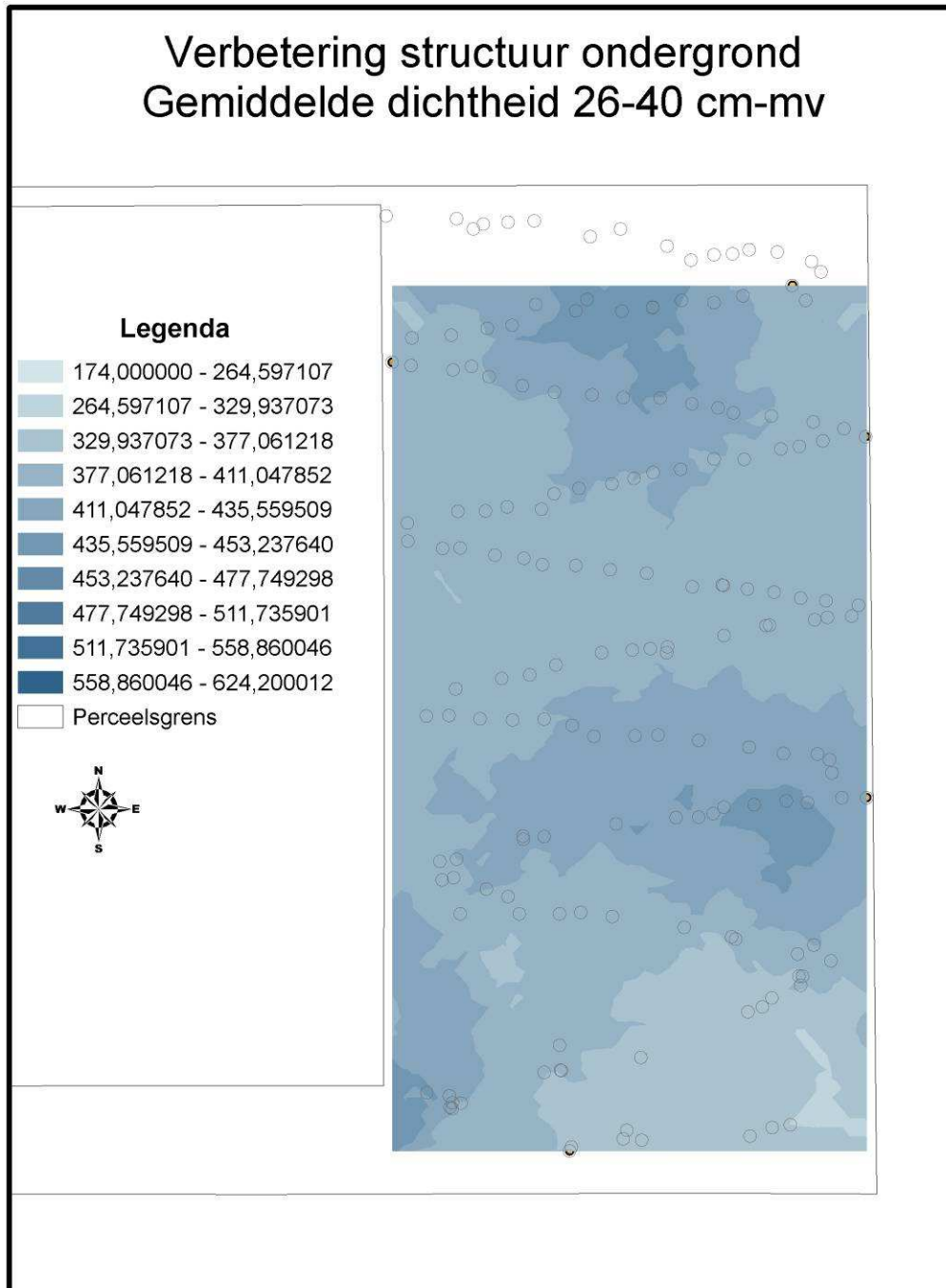
#### Rotatie 2007-2008

Code	Gewassen	
	2007	2008
R1	luzerne	luzerne
R2	wintertarwe	suikerbiet
R3	consumptieaardappel	zaaiui



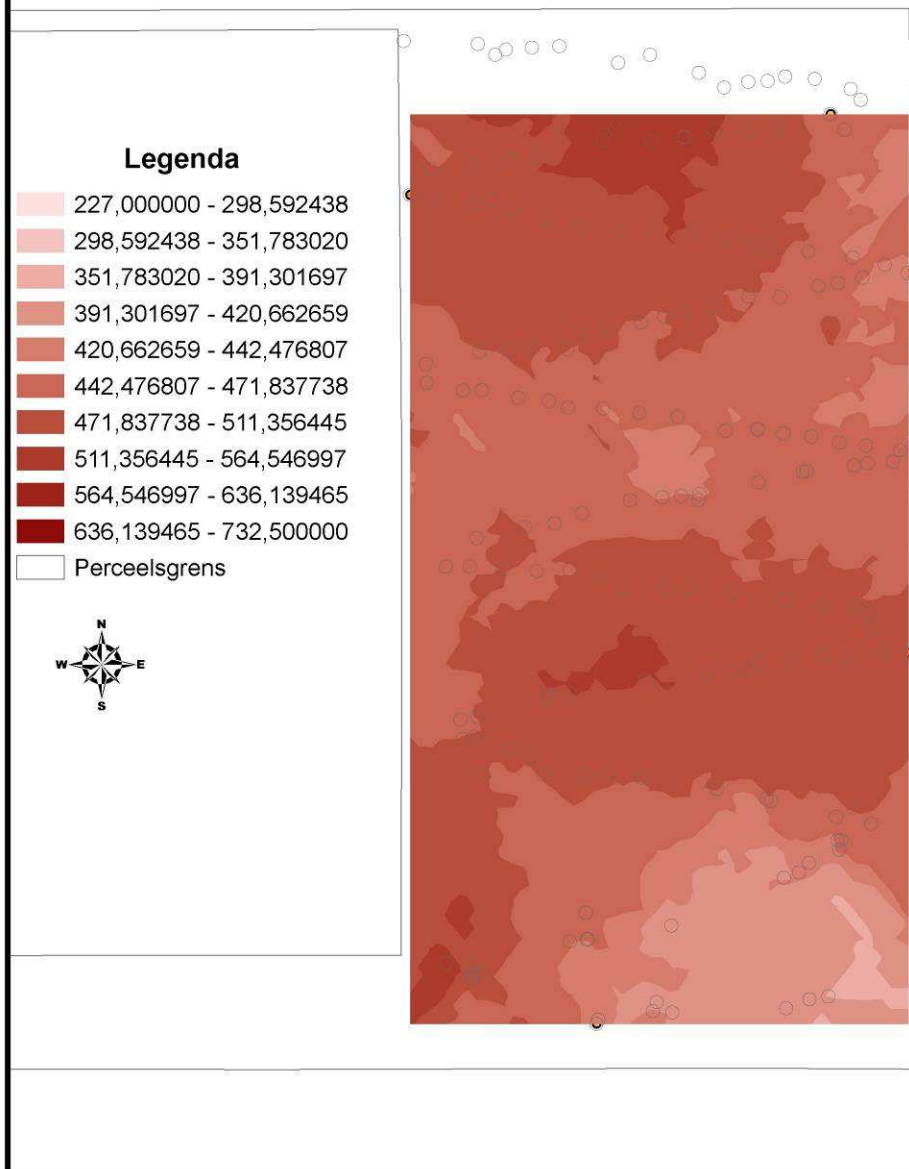
## Bijlage 3. Indringingsweerstand 21 juni 2006

De kaartjes in deze bijlage zijn gemaakt door de meetpunten van de penetrometer te interpoleren d.m.v. ordinary Kriging. Het zigzag-patroon van rondjes geeft de meetpunten aan. De meetwaarden zijn uitgedrukt in  $N/cm^2$ . Door de waarden te delen door 100 verkrijgt men het aantal Mpa.

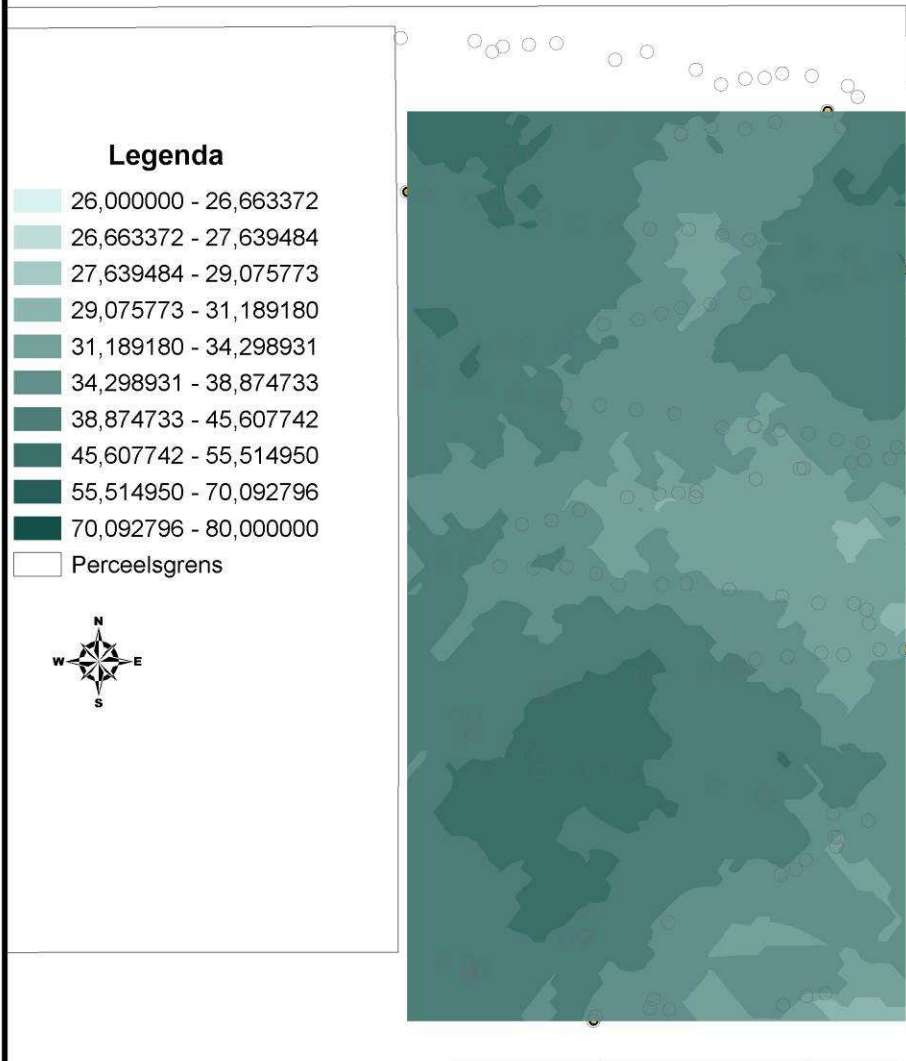




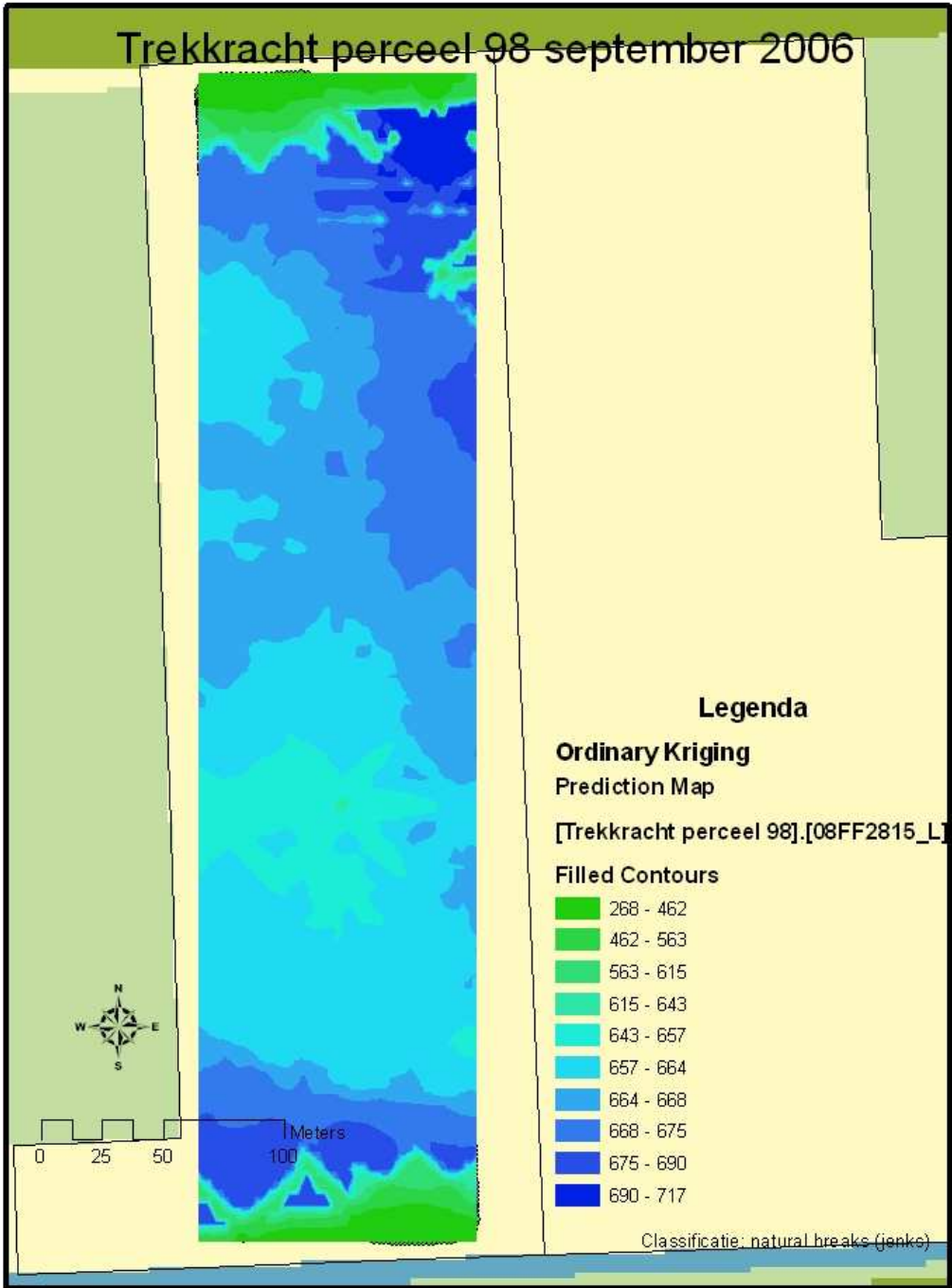
## Verbetering structuur ondergrond Maximale dichtheid in laag 26-80 cm-mv



## Verbetering structuur ondergrond Diepte van maximale dichtheid (cm-mv)

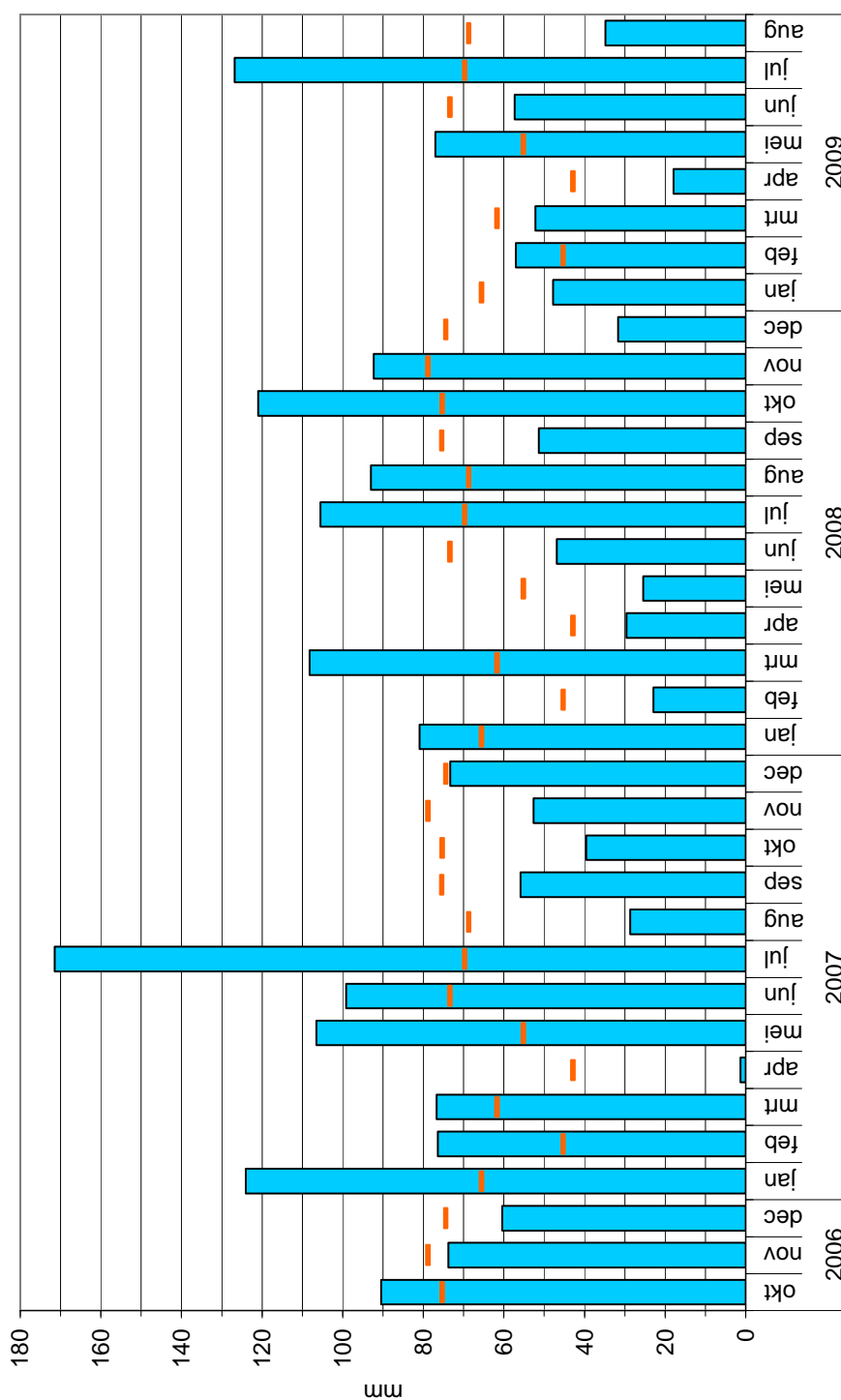


# Bijlage 4. Trekkraftmeting tot 45 cm -mv, sep 2006



## Bijlage 5. Neerslaggegevens proefbedrijf Lelystad

In de grafiek hieronder is de maandelijkse hoeveelheid neerslag weergegeven tijdens de periode van de veldproef, die is gemeten op het proefbedrijf te Lelystad. De horizontale streepjes geven de normale hoeveelheid neerslag aan van het (dichtstbijzijnde) KNMI-meetstation te Swifterbant.



# Bijlage 6. Overname uit Alterra - Rapport 1450

*Akker, J.J.H. van den en W.J.M. de Groot, 2008. Inventariserend onderzoek naar ondergrondverdichting van zandgronden en lichte zavel. Wageningen, Alterra, Alterra rapport 1450.*

## **Verslag van de bodemfysische metingen bij de proef “Onderzoek naar de verbetering van de structuur van de ondergrond”.**

### **1. Inleiding**

In het PPO project “Onderzoek naar de verbetering van de structuur van de ondergrond” is Alterra onderaannemer voor het doen van een aantal bodemfysische metingen. De probleemstelling bij het onderzoek is de vraag hoe bij een zavelgrond/lichte kleigrond de structuur van een verdichte ondergrond verbeterd kan worden. Gezocht wordt naar de meest aantrekkelijke methode(n) om op een perceel met een verdichte ondergrond de bodemkwaliteit te verbeteren. Het gaat om zowel de beoordeling van het effect van mechanische ingrepen (woelen met een traditonele woeler en de ‘combiplow’ en spitten) als om het effect van gewassenkeuze (wel/niet diepwortelende gewassen).

Het onderzoek wordt uitgevoerd op een perceel aan de Edelhertweg (achter de gebouwen van ASG, kavel 86) waarvan sinds 2005 het PPO-agv het beheer heeft. Daarvoor was de kavel lange tijd verhuurd. In 2005 is gebleken dat de ondergrond van dit perceel sterk verdicht is. Dit leidde in 2005 tot een hoog percentage verzopen aardappelen. Het betreft een 8 ha groot perceel waarvan de binnenste 6 ha geschikt is om daarop een vergelijkende proef uit te voeren.

In deze rapportage wordt alleen op het aandeel van Alterra in het onderzoek ingegaan.

### **2. Proefopzet en bodemfysische metingen**

#### **2.1. Proefopzet**

Op drie blokken is in het vroege najaar van 2006 op droge grond een bodembewerkingsvariant uitgevoerd om de ondergrond tot 40 à 45 cm los te maken. Bij twee blokken zijn onbehandeld en is de ondergrond niet losgemaakt. In 2006 waren alle blokken ingezaaid met zomergerst. Voor 2007 zijn dwars op de 5 blokken met al of niet diepe grondbewerking drie bouwplannen met een verschillende gewasinvulling uitgezet. De drie bodembewerkingsvarianten zijn: woelen, spitten, en combiplow. De combiplow is anders dan de naam doet vermoeden een soort woeler (zie Figuur 1a), waarvan de onderkant is uitgerust met een voet, waarmee de verdichte laag wordt opgelicht en zo gebroken. Het woelen met de traditionele woeler (zie Figuur 1b) en de combiplow ging tot 45 cm –mv. Bij het woelen vindt nauwelijks menging van de grond plaats. Het spitten ging tot 43 cm diepte, waarbij de bouwvoor en de ondergrond worden vermengd. De droge grond kwam door het spitten zeer los te liggen. Bij het woelen kwam de grond nauwelijks omhoog. Het proefschema voor 2007 is aangegeven in Figuur 2. De eerste onbehandelde strook (onbeh1) valt buiten het gebied dat in 2005 met plassen was bedekt. De strook met spitten was in 2005 niet zo nat als de binnenste drie stroken.



Fig 1a. Combiplow



Fig 1b. Woeler

De drie bouwplannen voor de jaren 2007 en 2008 zijn: bouwplan 1 (luzerne, luzerne), bouwplan 2 (wintertarwe, koolzaad of suikerbiet) en bouwplan 3 (aardappel, zaaiui). In 2006 en in het afsluitende jaar 2009 wordt op het gehele perceel zomergerst geteeld. De gewassen in bouwplan 1 en 2 zijn diepwortelende gewassen en die in bouwplan 3 zijn ondiep wortelend.

Rotatie 2007 / 2008	Onbeh1	Combiplow	Woelen	Onbeh2	Spitten
Luzerne / Luzerne					
Aardappelen / Zaaiui					
Wintertarwe / Suikerbiet					
Aardappelen / Zaaiui					
Wintertarwe / Suikerbiet					
Luzerne / Luzerne					

*Figuur 2. Proefschema 2007/2008. De bemonstering heeft op het gedeelte met de aardappelen plaatsgevonden. De strook "Onbeh1" valt buiten het deel dat veel plasvorming had in 2005. De lengte (in de figuur horizontaal) van de proefstroken is 80 m en de breedte 24 m.*

## 2.2. Bodemfysische metingen

Op 30 mei 2007 zijn van alle proefvelden met de gewassen tarwe, aardappelen en luzerne indringingsweerstand gemeten met de Bush penetrometer (conus 1 cm<sup>3</sup>).

Bij alle behandelingen zijn diagonaal door het proefveld 10 metingen uitgevoerd.

Op 9 juli 2007 zijn infiltratiemetingen met de infiltrometer gedaan in de aardappelproefveldjes van de tweede herhaling (westelijk). De plekken zijn gekozen midden tussen de drains. De omstandigheden waren extreem nat. Er stond op veel plaatsen water tussen de aardappelruggen. Tevens zijn indien mogelijk op enkele plaatsen ringmonsters van 7,5 cm doorsnee genomen om volumieke massa en luchtgehalte van het natte pF traject te meten.

Op 22 augustus 2007 zijn profielkuilen gemaakt in de aardappelen, waarin een profielbeschrijving, een beoordeling van de beworteling, meting van worteldichtheid en ringmonsters van 7,5 cm zijn genomen op verschillende diepten om de volumieke massa, porienvolume en luchtgehalten bij 50 en 100 cm te bepalen. De profielkuilen lagen aan de andere kant van de aardappelproefvelden waar eerder de infiltratiemetingen zijn gedaan. Ze lagen daarmee wel weer midden tussen de drains.

Op 27 augustus 2007 zijn de penetrometerwaarnemingen herhaald in de aardappelen. De metingen zijn toen uitgevoerd in clusters van 5 \* 5 metingen rond een plek waar ook een 100cc ringmonster op 27-32 cm -mv. is genomen. Ze lagen ook in een raai diagonaal door het proefveld. De ringmonsters zijn gebruikt om de volumieke massa te bepalen.

Op 17 en 22 oktober 2007 zijn met PVC-ringen van 20 cm doorsnede ringmonsters genomen. Ze zijn gebruikt om op het lab de verzadigde doorlatendheid vast te stellen. De bemonsteringsdiepte was 25 - 35cm. Er zijn 3 ringen per behandeling genomen.

## 3. Resultaten en discussie

### 3.1. Infiltratiesnelheid

In tabel 1 zijn gemeten infiltratiesnelheden weergegeven, zoals gemeten met de infiltrometer. De infiltratiesnelheden van de behandelingen 'Onb1' en 'combiplow' zijn aanzienlijk hoger dan de andere drie behandelingen. Dit komt goed overeen met de algemene indruk tijdens de metingen. Op de eerste twee behandelingsblokken (vooral het eerste blok was duidelijk droger) stonden veel minder plassen op het land dan de andere drie.

Over de meetresultaten is wel wat twijfel. De metingen van de eerste twee behandelingen zijn niet volledig in evenwicht. Bij herhaling van de metingen bleek de infiltratiesnelheid nog steeds te dalen. Vermoedelijk heeft de plasmovorming bij de andere drie behandelingen de metingen ook beïnvloed. Door het geringe potentiaalverschil tussen de waterhoogte in de infiltratiering en de plassen tussen de aardappelrijen, kunnen de infiltratiesnelheden lager zijn ((bij sommige behandelingen stonden de infiltratieringen rondom in het water).



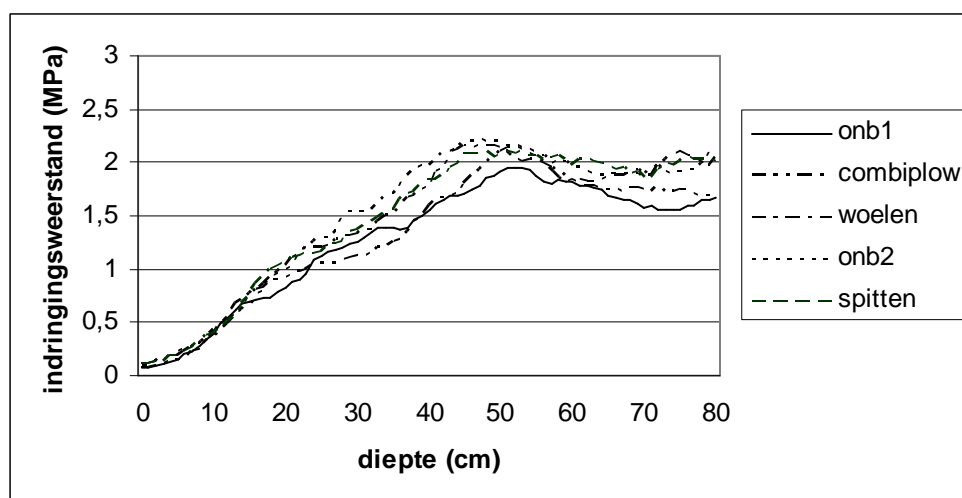
Tabel 1 infiltratiesnelheden (m/dag) bij een of meerdere metingen per behandeling (meerdere metingen zolang er nog geen constante stroming optrad).

Meting	1	2	3	4
<b>Behandeling</b>				
Onb1	33,41	20,16	19,20	12,67
combiplow	6,90	4,58		
woelen	0,11			
Onb2	0,56			
spitten	1,15			

### 3.2. Indringweerstand

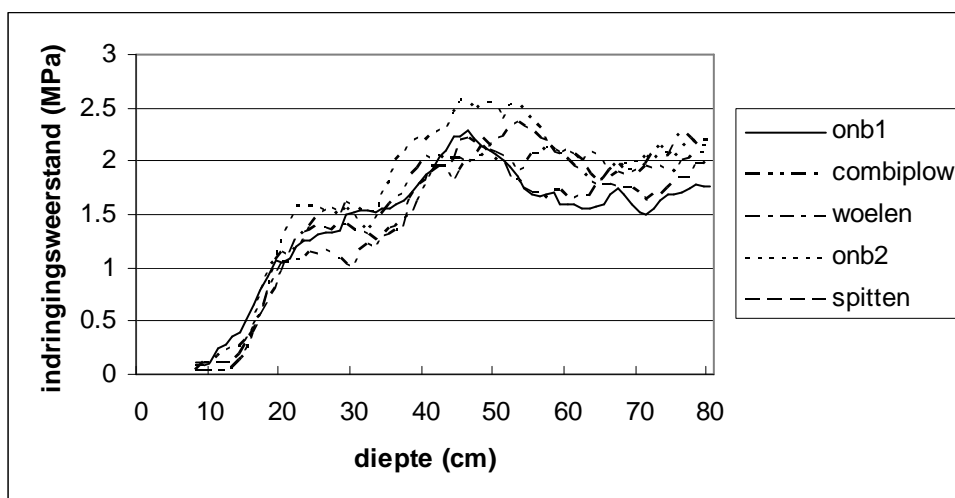
De indringweerstand zijn gemeten met de Bush penetrograaf (conus 1 cm<sup>2</sup>, tophoek 60<sup>o</sup>) op 30 mei 2007 (Figuur 3) en 27 augustus 2007 (Figuur 4). De metingen zijn in 10 - voud gedaan en gemiddeld.

De indringweerstand geven geringe verschillen tussen de behandelingen te zien. De verschillen tussen de twee gedeelten die onbehandeld zijn, zijn minstens zo groot als de verschillen met behandelingen met grondbewerkingen. Dit geldt op beide tijdstippen.



Figuur 3. Indringweerstand in alle behandelingen op aardappelen, luzerne en tarwe op 30 mei 2007. Bij aardappelen zijn de metingen halverwege de flank van aardappelruggen gedaan (= mv.).





Figuur 4. Indringingsweerstand in alle behandelingen op aardappelen op 27 augustus 2007. De bodem was op veldcapaciteit. De metingen zijn gedaan tussen de aardappelruggen. Voor de juiste maaieldshoogte is gecorrigeerd.

In de grafiek van 27 augustus (Figuur 4) lijkt de invloed van de ploegzool op de indringingsweerstand duidelijker zichtbaar dan op die van 30 mei 2007 (Figuur 3). Vanaf 30 cm neemt de weerstand sterker toe. Er is daarbij weinig verschil tussen de behandelingen. De omstandigheden waren in beide gevallen vochtig/nat. Geen enkele keer is een gemiddelde indringingsweerstand gemeten die boven de voor beworteling geldende grens van 3,0 MPa uitkomt.

### 3.3. Droge dichtheid

Uit tabellen 2 en 3 dat de behandelingen combi-plow, woelen en onb2 een vergelijkbare droge dichtheid hebben. De behandelingen onb1 en spitten hebben een vergelijkbare lagere droge dichtheid. Zij liggen op een hoger deel van het perceel met diepere GLG.

De twee groepen zijn significant verschillend van elkaar (zie arcering in tabel 3).

Tabel 2. Gemiddelde droge dichtheid op 27-32 cm –mv van de verschillende behandelingen in aardappelen op 27 augustus 2007.

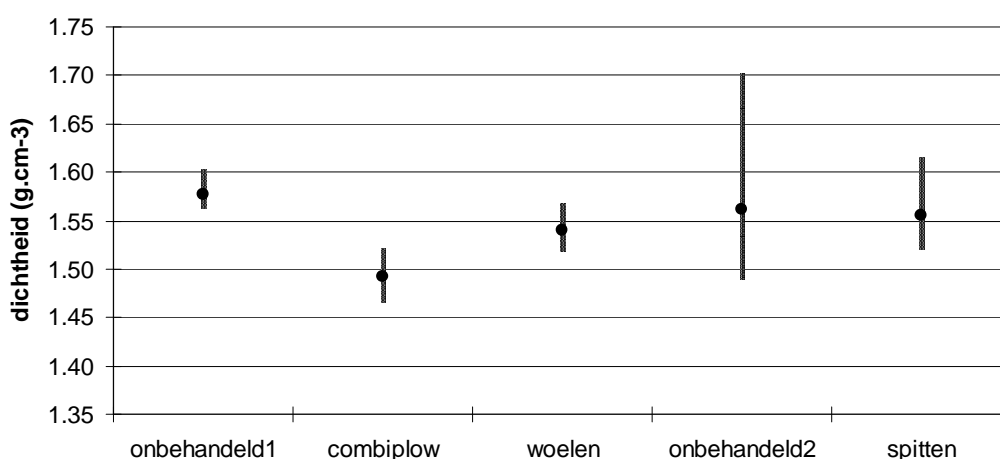
Behandeling	onb1	combi-plow	woelen	onb2	spitten
Droge dichtheid (gem) ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	1,525	1,584	1,611	1,598	1,550
Standaarddeviatie (n=5)	0,047	0,027	0,035	0,039	0,028
Sed	0,023				

Tabel 3. t-waarden van de volumieke massa verschillende behandelingen op 27-32 cm –mv. in aardappelen op 27 augustus 2007

behandeling	significant verschillend zijn: >2,13 (t-tabel) (n=5)				
	behandeling				
	onb1	combi-plow	woelen	onb2	spitten
onb1		2,55	3,78	3,20	1,08
combiplow			1,22	0,65	-1,47
woelen				-0,58	-2,69
onb2					-2,69
spitten					

In 2006 is in het midden van het proefveld boven de drains en tussen de drains de dichtheid van de toen nog onbehandelde grond op 25 – 30 cm en op 30 – 35 cm bepaald. Boven de drain was de dichtheid respectievelijk 1,62 en 1,63 g.cm<sup>-3</sup>. Tussen de drains was de dichtheid respectievelijk 1,48 en 1,62 g.cm<sup>-3</sup>. De dichtheden van de ploegzool op het middenste deel van het proefveld waren in 2006 dus iets hoger dan in 2007, maar het verschil is niet groot.

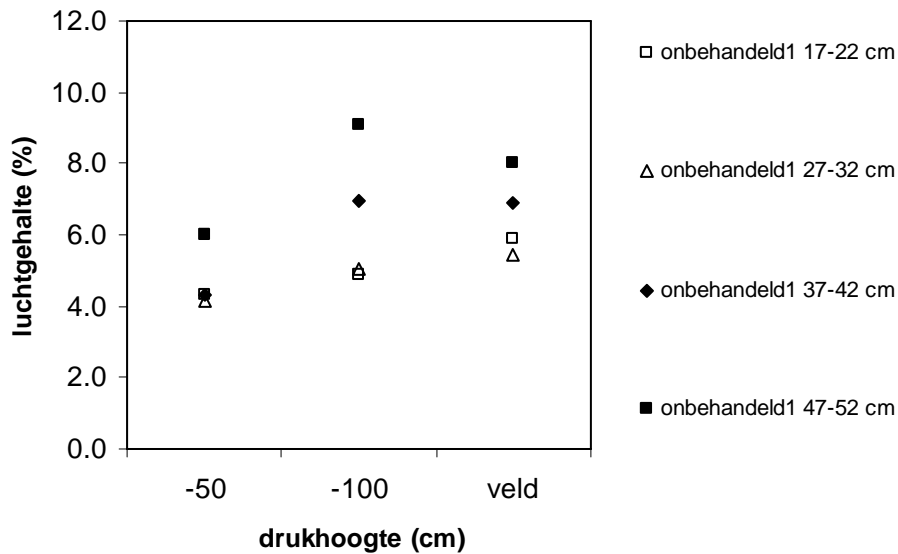
In figuur 5 zijn de dichtheden van de ringmonsters uit de profielkuilen op 27-32 cm –mv. weergegeven. Hieruit blijkt dat de profielkuilen een wat afwijkend beeld geven van dat van de ringmonsters die verspreid over het proefveld zijn genomen en door het minder aantal waarnemingen (n=3) op korte afstand minder representatief zijn voor de behandeling. De ringmonsters zijn op onderlinge afstand van 20 -30 cm genomen. Verwacht werd dat de behandelingen combiplow en woelen een grotere variabiliteit in de volumieke massa zouden hebben. Dit is niet het geval. De spreiding bij onbeh2 is groter. In de profielkuilen waren ook weinig aanwijzingen voor de grondbewerkingen zichtbaar.



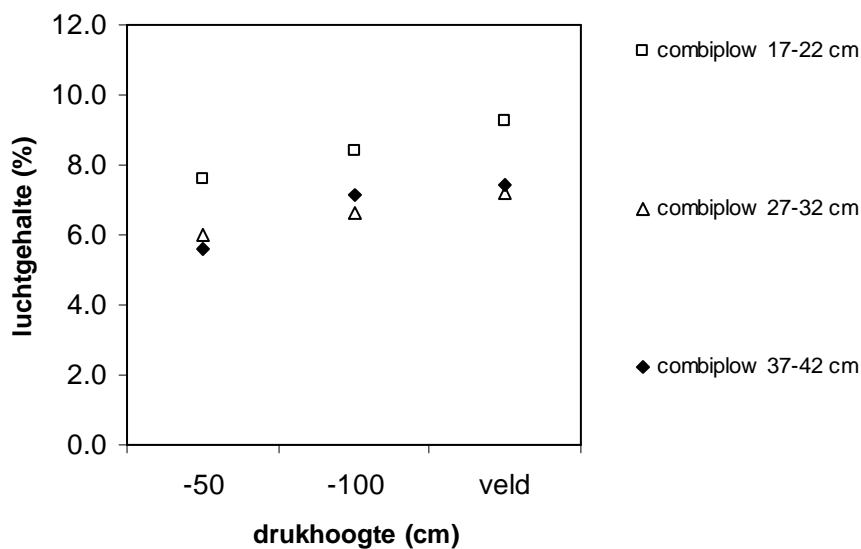
Figuur 5. Droge dichtheid en spreiding bij de profielkuilen op een diepte van 27-32 cm –mv.

### 3.4. Luchtgehalten en poriënvolume

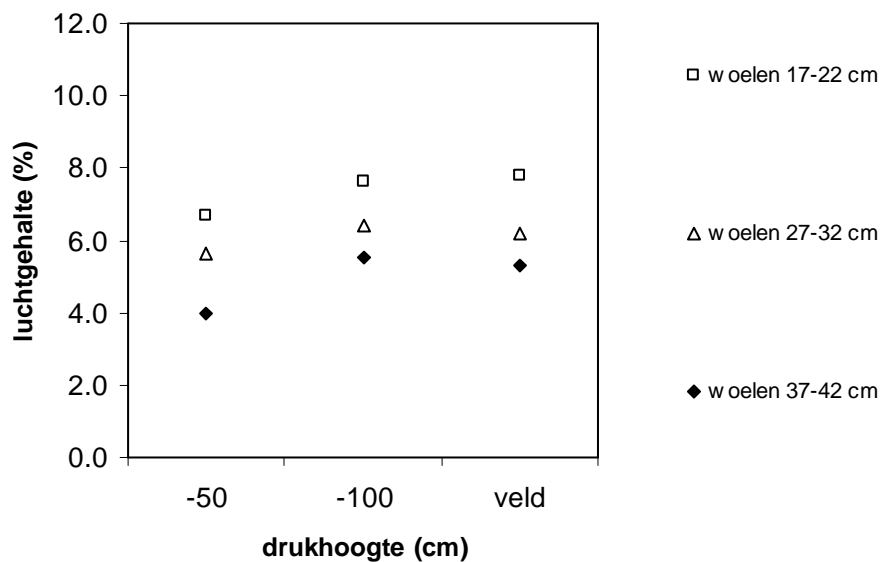
In figuur 6a t/m 6e zijn de luchtgehalten bij drukhoogten -50, -100 en de veldsituatie per behandeling uitgezet. De ondergrond op 47-52 cm bevat de hoogste luchtgehalten. Op veel diepten en bij veel behandelingen blijven de luchtgehalten ook bij een drukhoogte van -100 cm beneden 10% (=bewortelingscriterium).



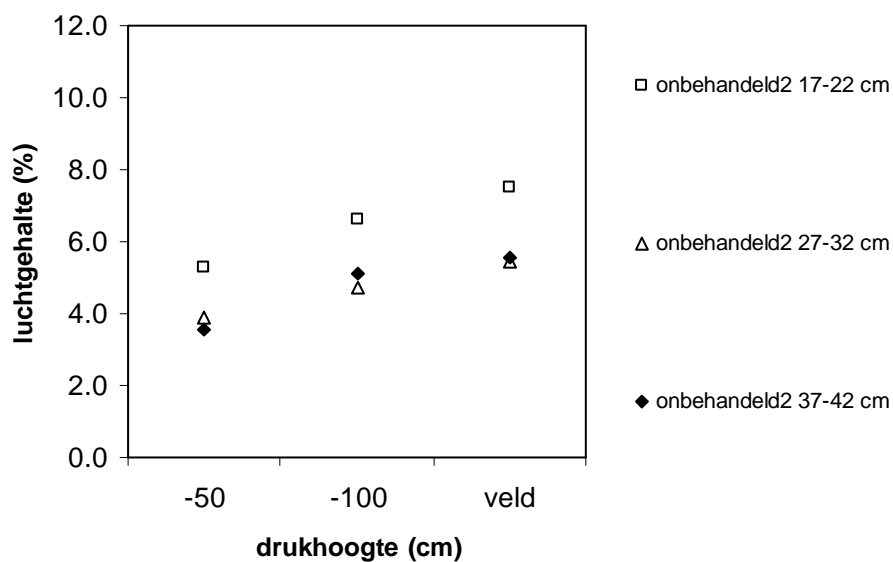
Figuur 6a. Luchtgehalten bij drukhoogten -50, -100 cm en de veldsituatie van behandeling onbeh1 op 4 diepten.



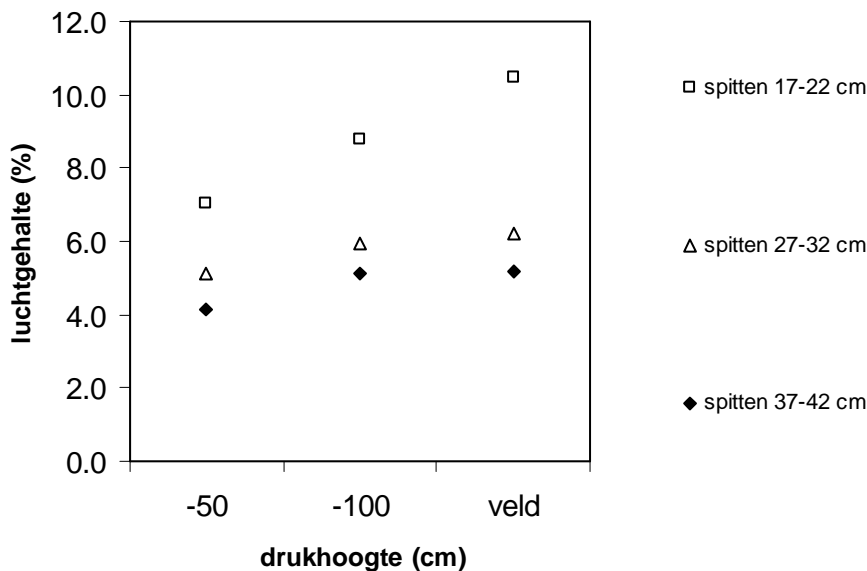
Figuur 6b. Luchtgehalten bij drukhoogten -50, -100 cm en de veldsituatie van behandeling combiplow op 3 diepten.



Figuur 6c. Luchtgehalten bij drukhoogten -50, -100 cm en de veldsituatie van behandeling woelen op 3 diepten.



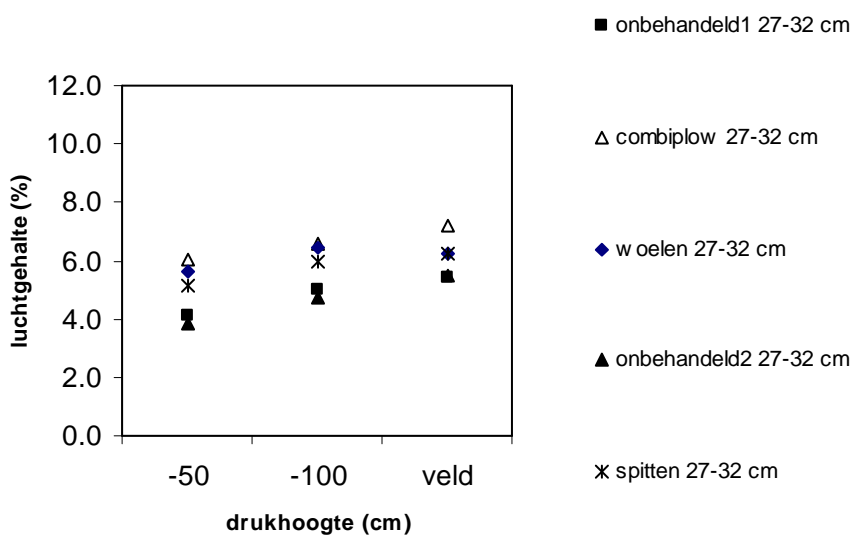
Figuur 6d. Luchtgehalten bij drukhoogten -50, -100 cm en de veldsituatie van behandeling onbehd2 op 3 diepten.



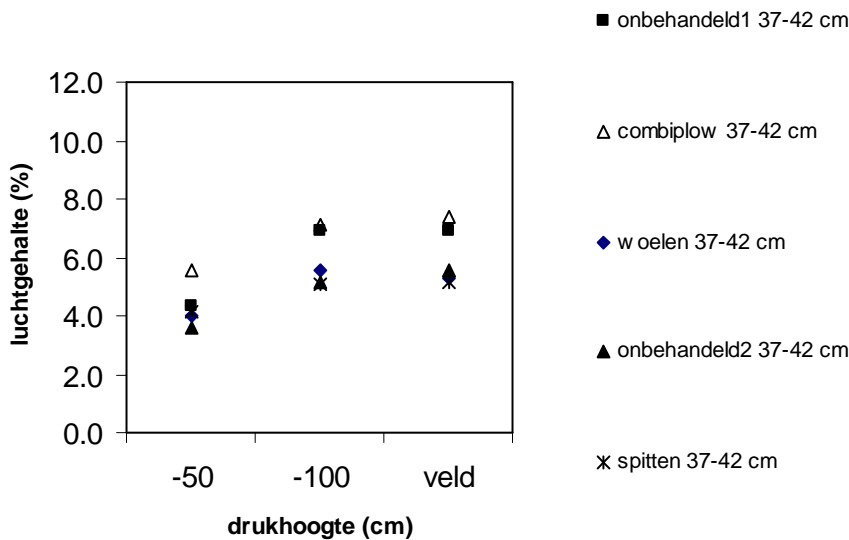
Figuur 6e. Luchtgehalten bij drukhoogten -50, -100 cm en de veldsituatie van behandeling spitten op 3 diepten.

De veldsituatie komt er meestal aardig mee overeen. In de onbeh1-lokatie zijn ook ringmonsters op 17 -22 cm genomen. Ook op die diepte zijn de luchtgehalten te laag.

In Figuur 7a en b zijn de luchtgehalten van behandelingen bij elkaar gezet op een bepaalde diepte.



Figuur 7a. Luchtgehalten bij drukhoogten -50, -100 cm en de veldsituatie van alle behandelingen op 27-32 cm - mv.



Figuur 7b. Luchtgehalten bij drukhoogten -50, -100 cm en de veldsituatie van alle behandelingen op 37-42 cm -mv.

De verschillen zijn niet erg groot. De luchtgehalten van de twee onbehandelde objecten zijn tussen 27-32 cm het laagst. Blijkbaar heeft diepere grondbewerking dan ploegen tot 27 cm wel enig effect gehad. Het heeft er echter niet voor gezorgd dat deze laag een voldoende hoog luchtgehalte bij lage drukhoogten heeft verkregen.

Op grotere diepte (37-42 cm -mv) is er een minder goed verband met de uitgevoerde grondbewerkingen. Blijkbaar hebben grondbewerkingen op die diepte weinig verbetering opgeleverd. Het object onb1 ligt wat hoger en heeft bij aanvang al een beter luchtgehalte. De combi-plow heeft op deze diepte een beter resultaat dan woelen of spitten.

Alle luchtgehalten zijn op beide diepten lager dan 8%, ook bij een drukhoogte van 100 cm. De conclusie is dat de behandelingen weinig effect hebben gehad op de waterretentiekarakteristiek (pF-curve) in dit traject.

### 3.5. Verzadigde doorlatendheid

De verzadigde doorlatendheid van de laag net beneden de gangbare ploegdiepte van 25 cm is in tabel 4 weergegeven. De doorlatendheid is in bijna alle gevallen laag.

Alleen bij de behandeling ‘spitten’ is in een van de drie ringen een hoge verzadigde doorlatendheid van 589 cm/dag gemeten.

Dit beeld komt deels overeen met gemeten infiltratiesnelheden en doorlatendheden van juli 2007 (gemeten met de infiltrometer) in tabel 1. Opvallend is dat bij de behandeling ‘onbehandeld’ en ‘combi-plow’ nu veel lagere doorlatendheden zijn gemeten. Ze zijn gemiddeld wel hoger dan de Ksat van de andere drie behandelingen. Ook hier is geen duidelijk behandelingseffect zichtbaar.

Tabel 4 Verzadigde doorlatendheid (cm.d<sup>-1</sup>) van de 10 cm dikke laag net beneden de ploegdiepte (plm. 25-35 cm –mv.)

Ksat (cm.d <sup>-1</sup> )	Meting 1	Meting 2	Meting 3
<b>behandeling</b>			
Onb1	9,2	0,36	0,8
combiplow	0,08	10,1	29,4
woelen	0,14	0,33	0,2 <sup>1</sup>
Onb2	3,6	<sup>2</sup>	0,03
spitten	0,2	589	6,7

<sup>1</sup> Na dichtstoppen ‘gat’.

<sup>2</sup> Monster afgekeurd

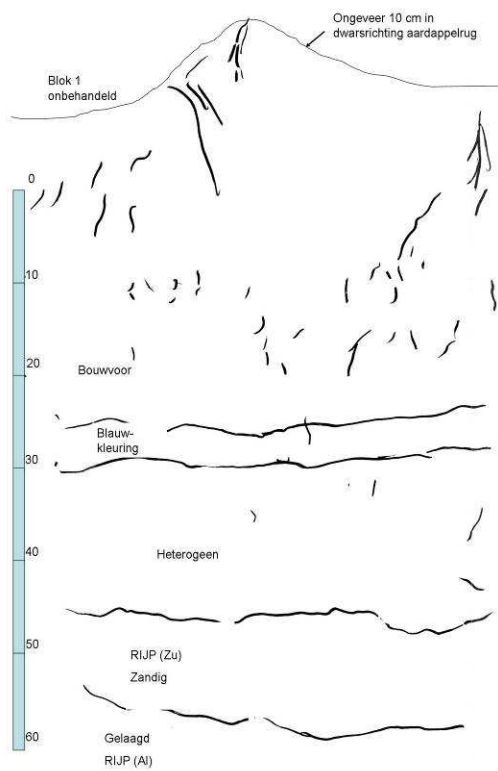
### 3.6. Profielbeschrijvingen en beworteling

In tabel 5 zijn textuuranalyses van een aantal lagen weergegeven. De in paragraaf 3.5 beschreven verzadigde doorlatendheden zijn gemeten in lagen waarvan hier ook analyses zijn genoemd. De laag net onder de bouwvoor van het proefveld blijkt ondanks vermenging met de eronder liggende zandiger laag (vergelijk de twee diepere lagen) nog steeds uit zware zavel te bestaan (een enkele keer zelfs lichte klei).

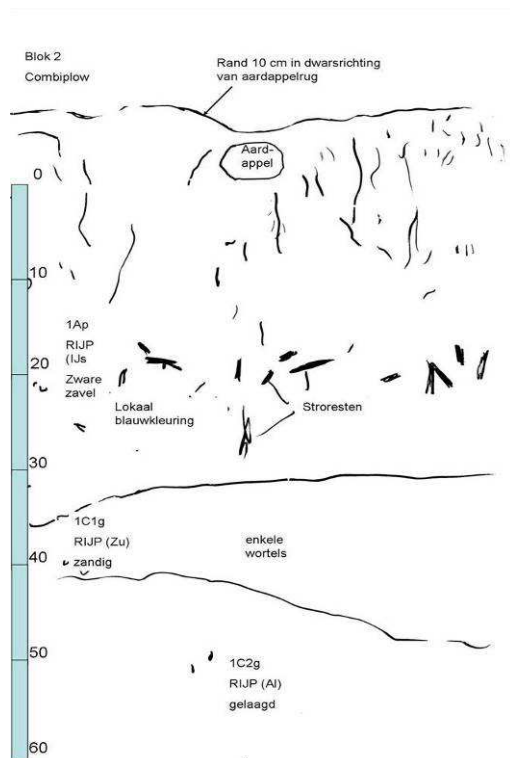
Tabel 5 De textuur (% van de minerale delen) van monsters genomen bij de plekken waar verzadigde doorlatendheidsmetingen zijn gedaan

Textuur	Diepte	Lutum	Silt	Zand	Afslib- baar	Leem	M50
<b>Behandeling</b>	(cm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Onbehandeld1	25 -35	23,8	28,2	48,1	34,9	51,9	92
Onbehandeld1	35 -45	12,8	21,9	65,3	20,4	34,7	97
Combiplow	25 -35	23,6	22,0	54,4	32,6	45,6	98
Woelen	25 -35	23,6	22,0	54,4	32,6	45,6	98
Onbehandeld2	25 -35	21,9	25,1	53,0	32,0	47,0	96
Spitten	25 -35	21,5	27,9	50,7	33,1	49,3	98
Spitten	45 -55	13,1	29,2	57,7	22,2	42,3	94

In figuur 8 a t/m e staat de beworteling weergegeven van de behandelingen (blokken) in het aardappelproefveld. De wortelbeelden zijn genomen op 10 cm in de richting van de aardappelrug. Daardoor ligt het maaiveld lager dan de bovenkant van de beelden.

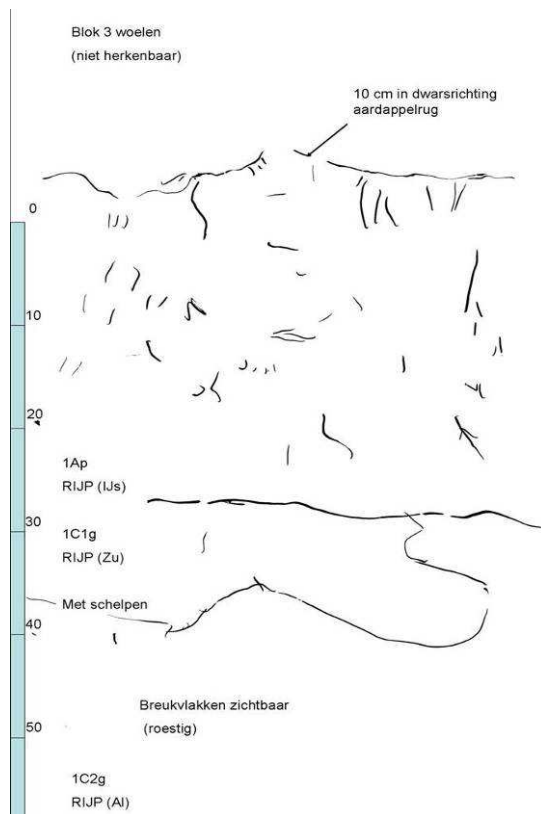


Figuur 8a. Beworteling in blok 1 (onbehandeld) van het aardappelproefveld.

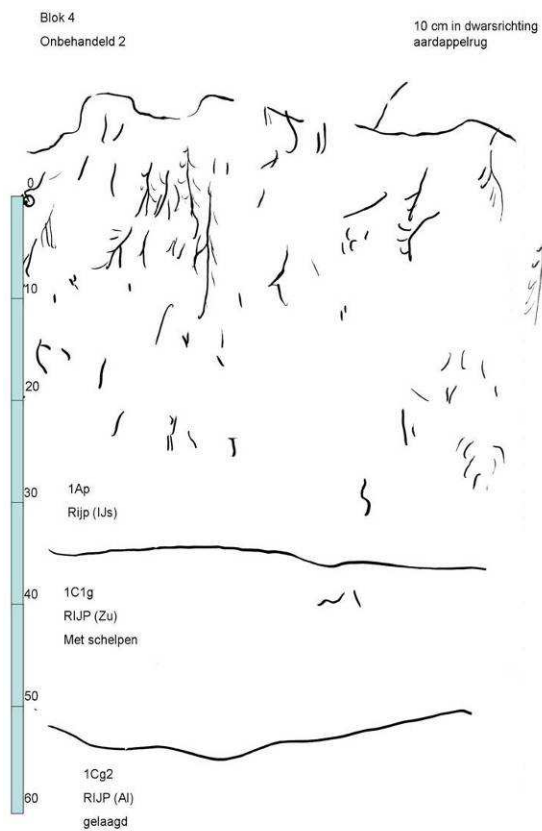


Figuur 8b. Beworteling in blok 2 (combiplow) van het aardappelproefveld.

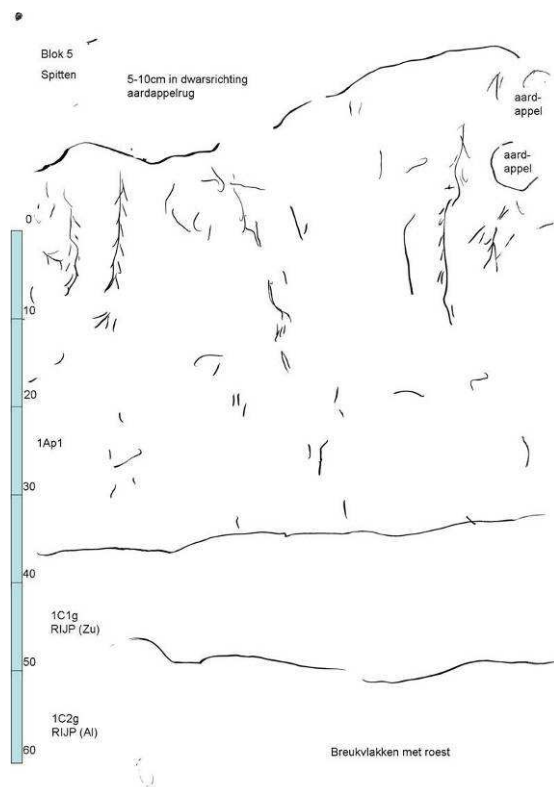




Figuur 8c. Beworteling in blok 3 (woelen) van het aardappelproefveld.



Figuur 8d. Beworteling in blok 4 (onbehandeld 2) van het aardappelproefveld



Figuur 8e. Beworteling in blok 5 (spitten) van het aardappelproefveld

Tabel 6. Profielbeschrijvingen: Bodemgebruik akkerland, gewas aardappelen.

Alle profielen hebben een grondwatertrap VI met een Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) van 70 cm en een Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) van 130 cm. De bewortelbare diepte is geschat op 1 m.

#### **blok1 onbehandeld 1**

Opmerkingen

beworteling tot max. 45 cm;

dwars op profiel (in richting aardappelrij) veel variatie in dikte bovengrond (Ap) oorzaak : diepe grondbewerking?

Laag no	Horizont code	Laag (cm)	Org. stof (%)	Lutum (%)	Wortels aantal/dm <sup>2</sup>	Opmerkingen
1	1Ap1	0-10	2.5	19	6,11,7	los (spoordiepte aardappelruggen_ afgerond blokkig)
1	1Ap1	10-27	2.5	19	3,5,3	vast; veel org. gewasresten; weinig kruimelig scherp afgerond (>70%); grote kluiten bonkig; met beworteling op de breukvlakken (glanzend)
2	1Ap2/C	27-30	2	19	3,5,3	vast; blauw (ploegzool); massieve structuur (scherp=100%)
3	1Ap3/Cg	30-45	1	16	0,0,3	heterogeen; gemengd A/C 1:1
4	1Cg2	45-55		4		zandige schelprijke laag; losgepakt; geen structurelementen
5	1Cg3	55-65		12		breukvlakken roestig; roestige vert. wortelgangen

**blok2 combiplow**

Opmerkingen beworteling tot max. 60 cm  
werking combiplow niet zichtbaar in profiel

Laag no	Horizont code	Laag (cm)	Org. stof (%)	Lutum (%)	Wortels aantal/dm <sup>2</sup>	Opmerkingen
1	1Ap1	0-10	2.5	19	15,13,10	los, kruimelig; aardappelrug
1	1Ap1	10-27	2.5	19	6,4,5	vast; veel org. gewasresten; weinig kruimelig scherp afgerond (>70%); grote kluiten bonkig; met beworteling op de breukvlakken (glanzend)
2	1Ap2/C	27-30	2	19	3,3,2	vast; blauw (ploegzool); massieve structuur (scherp=100%)
3	1Ap3/Cg	30-45	1	16	3,1,2	heterogeen; gemengd A/C 1:1
4	1Cg2	45-55		4	0,2,0	zandige schelprijke laag; losgepakt; geen structurelementen
5	1Cg3	55-65		12	3,2,0	breukvlakken roestig; roestige vert. wortelgangen

**blok3 woelen**

Opmerkingen beworteling tot max. 60 cm  
werking woelen niet zichtbaar in profiel

Laag no	Horizont code	Laag (cm)	Org. stof (%)	Lutum (%)	Wortels aantal/dm <sup>2</sup>	Opmerkingen
1	1Ap1	0-10	2.5	19	12,13,18	los, kruimelig; afgeronde structuur, aardappelrug
1	1Ap2	10-25	2.5	19	9,15,13	de breukvlakken langs scheuren zijn glad en glanzend door waterverzadiging/doorstroming; 70% grote kluiten/30% verkruimeld
2	1Ap3	25-30		19	1,5,5	vast; geen tot weinig wortels
3	1C1g	30-40		4	4,1,2	schelpen; lokaal afwezige laag (verwerkt?)
4	1Cg2	40-60		16	0,1,4	soms fraaie breukvlakken, vanaf 50cm met verticale fossiele wortelgangen (roestig)

**blok4 onbehandeld 2**

Opmerkingen beworteling tot max. 48 cm

Laag no	Horizont code	Laag (cm)	Org. stof (%)	Lutum (%)	Wortels aantal/dm <sup>2</sup>	Opmerkingen
1	1Ap1	0-10	2.5	19	21,19,15	veel wortels tot 10 cm
1	1Ap2	10-26	2.5	19	8,6,16	veel stroresten op 17-22 cm
2	1Ap3	26-33		19	3,5,2	weinig beworteling; dooie structuur; vast; blauwkleuring
3	1C1g	33-48		4	1,0,0	zandig, schelpen
4	1Cg2	48-60		16	0, 0,0	

**blok5 spitten**

Opmerkingen beworteling tot max. 38 cm

Laag no	Horizont code	Laag (cm)	Org. stof (%)	Lutum (%)	Wortels aantal/dm <sup>2</sup>	Opmerkingen
1	1Ap1	0-10	2.5	19	12,9,9	los, veel wortels, aardappelrug
1	1Ap2	10-20	2.5	19	8,8,6	veel wortels, poreus
2	1Ap3	20-38	2	19	7,6,3	massief; bijna geen wortels
3	1C1g	38-55		4	0,0,0	zandig, schelpen
4	1Cg2	55-70		16		gelaagd

## 4. Conclusies

De dichtheden van de ploegzool lijken door de diepe grondbewerking iets lager te zijn geworden. Dit is echter nihil en de dichtheden zijn nog steeds hoog. Belangrijker is dat het luchtgehalte bij vochtspanningen van 50 en 100 cm waterkolom in alle gevallen onder de 10% blijft. In natte omstandigheden, zoals in 2007 veelvuldig zijn opgetreden zijn grote problemen met de luchtvoorziening van wortels te verwachten. Ook de verzadigde waterdoorlatendheid was in bijna alle gevallen slecht ( $< 10 \text{ cm.d}^{-1}$ ), waardoor de grond lang nat blijft en de omstandigheden voor berijding, grondbewerking en oogsten lang slecht blijven. Alleen bij de combi-plow bleek bij twee van de drie monsters de doorlatendheid voldoende te zijn. Bij één van de drie monsters bij de behandeling “spitten” was de doorlatendheid groot.

Het veldexperiment is nog niet afgelopen, maar de voorlopige conclusie kan alleen maar zijn dat het effect van de diepe grondbewerking erg weinig is en niet of nauwelijks een verbetering van de bodemkwaliteit teweegbrengt.

Bij deze voorlopige conclusie moet ook worden bedacht dat in 2007 de bodemfysische bepalingen alleen zijn gedaan op de blokken met aardappelen. Dit is een ondiep wortelend gewas, dat bovendien op ruggen wordt geteeld. Daarnaast zijn aardappelen gevoelig voor wateroverlast, zodat in een nat jaar als 2007 geen goede beworteling in de ondergrond en specifiek de al of niet losgemaakte ploegzool is te verwachten. Een goede beworteling is essentieel om de bodemkwaliteiten te verbeteren. Wat dat betreft is van de blokken met luzerne en in mindere mate van de blokken met tarwe veel eerder een verbetering van de fysische bodemkwaliteit te verwachten.

Aanbevolen wordt om in 2008 opnieuw de fysische bodemkwaliteit te gaan meten en deze metingen ook uit te voeren bij de blokken met luzerne en zo mogelijk bij die met tarwe. Daarmee wordt informatie verkregen over de mogelijkheden van verbetering van de bodemkwaliteit door de combinatie van losmaken en beworteling en door de verbetering door alléén beworteling bij de onbehandelde blokken.