



---

# Duurzaam opheffen ondergrondverdichting

Tussenrapportage 2020 | Werkpakket 3 PPS Klimaatadaptatie

Auteurs | Derk van Balen<sup>1</sup>, Harry Verstegen<sup>1</sup>, Annemiek Hogendoorn<sup>2</sup>,  
Maria-Franca Dekkers<sup>1</sup> & Wim van den Berg<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wageningen University & Research | <sup>2</sup> Aeres Hogeschool

Rapport WPR 875



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---

---

# Duurzaam opheffen ondergrondverdichting

Tussenrapportage 2020  
Werkpakket 3 PPS Klimaatadaptatie

Auteurs: Derk van Balen<sup>1</sup>, Harry Verstegen<sup>1</sup>, Annemiek Hogendoorn<sup>2</sup>, Maria-Franca Dekkers<sup>1</sup>,  
Wim van den Berg<sup>1</sup>

1 Wageningen University & Research

2 Aeres Hogeschool

Dit onderzoek is onderdeel van de PPS Klimaatadaptatie Open Teelten. Financiers zijn BO Akkerbouw en het ministerie van LNV. Partners in het project zijn Agrifirm, Delphy, SPNA en Wageningen UR. uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), business unit Open Teelten

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Lelystad, maart 2021

---

Rapport WPR-875

---

Van Balen, D.J.M, Verstegen H., Hogendoorn, A. Dekkers, M.S., Van den Berg, W, 2021. Duurzaam opheffen ondergrondverdichting; Werkpakket 3 PPS Klimaatadaptatie. Wageningen Research, Rapport WPR-875

Dit rapport is te downloaden op <https://doi.org/10.18174/563619>

Trefwoorden: Ondergrondverdichting, klimaatadaptatie

© 2021 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten, Postbus 430, 8200 AK Lelystad; T 0300 29 11 11; [www.wur.nl/plant-research](http://www.wur.nl/plant-research)

KvK: 09098104 te Arnhem  
VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. 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 Stichting Wageningen Research.

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

Rapport WPR-875

Foto omslag: Oanevents, gatenboorder WUR-Open teelten

---

# Inhoud

	<b>Woord vooraf</b>	<b>2</b>
<b>1</b>	<b>Aanleiding</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Maatregelen</b>	<b>5</b>
	2.1 Mechanisch opheffen	5
	2.2 Diepwortelende gewassen	6
<b>3</b>	<b>Proefopzet</b>	<b>7</b>
	3.1 Lelystad, zavel/kleigrond	7
	3.1.1 Uitvoering Lelystad	7
	3.1.2 Resultaten Lelystad	9
	3.2 Vredepeel, zandgrond	14
	3.2.1 Uitvoering Vredepeel	14
	3.2.2 Resultaten Vredepeel	15
<b>4</b>	<b>Conclusie en discussie</b>	<b>21</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>22</b>
	<b>Bijlage 1 Proefveld Lelystad</b>	<b>23</b>
	<b>Bijlage 2 Indringingsweerstand Lelystad per groenbemester</b>	<b>24</b>
	<b>Bijlage 3 Proefveld Vredepeel</b>	<b>25</b>
	<b>Bijlage 4 Opbrengsten groenbemester Vredepeel</b>	<b>27</b>
	<b>Bijlage 5 Opbrengsten bovengronds per bodembehandeling Vredepeel</b>	<b>28</b>
	<b>Bijlage 6 Opbrengsten ondergronds groenbemers Vredepeel</b>	<b>29</b>
	<b>Bijlage 7 Indringingsweerstand Vredepeel per groenbemester en grondbewerking</b>	<b>30</b>
	<b>Bijlage 8 Opbrengst groenbemester Vredepeel</b>	<b>31</b>
	<b>Bijlage 9 Indringingsweerstand Lelystad nulsituatie (19 augustus 2019)</b>	<b>32</b>

# Woord vooraf

In deze jaarrapportage worden de tussentijdse resultaten beschreven van twee veldproeven met het duurzaam opheffen van ondergrondverdichting op zowel zavel/kleigrond als zandgrond. De uitvoering van deze proeven konden tot stand komen dankzij de medewerking van medewerkers van de proefbedrijven in Lelystad en Vredepeel. Speciale dank gaat uit naar Annemiek Hogendoorn die als studente van de Aeres Hogeschool in het kader van een minor opdracht veel werk heeft verzet bij de bemonstering, verwerking en analyse van het proefveld in Lelystad.

# 1 Aanleiding

Door klimaatverandering worden er hogere gemiddelde temperaturen en veranderende neerslagpatronen verwacht. Langere perioden van droogte en perioden met veel neerslag in korte tijd zullen meer voorkomen. Dit heeft grote consequenties voor de landbouw. In sommige periodes wordt de vochtvoorziening van de gewassen met water van geschikte kwaliteit een knelpunt en in andere perioden is er een risico op schade aan de gewassen door wateroverlast. De kwaliteit van de bodem waar de gewassen op geteeld worden en de wijze en hoeveelheid beregening zijn hierbij cruciale factoren. De bodem dient het water aan de ene kant voldoende vast te houden maar moet ook bij teveel water, het water snel te kunnen laten infiltreren naar de ondergrond.

De huidige trend in bodemkwaliteit is echter eerder negatief dan positief. De bodemkwaliteit in Nederland staat onder druk. Een onvoldoende bodemkwaliteit en meer specifiek bodemdaling, ondergrondverdichting en lage (actieve) gehalten aan bodem organische stof, geeft hogere risico's op een onvoldoende vochtvoorziening van het gewas een slechte infiltratie van overtollig water.

Ondergrondverdichting is een groot en toenemend probleem in de Nederlandse akkerbouw, zoals beschreven door van den Akker (van den Akker et al., 2008 en van den Akker et al., 2013). Met ondergrondverdichting wordt een bodemverdichting bedoeld onder de bewerkingdiepte. Deze kan veroorzaakt zijn door rijden in de voor bij ploegen (ploegzool), of door te hoge bodembelasting bij berijden van de grond. Met name natte omstandigheden bij de oogst van gewassen kunnen ondergrondverdichting veroorzaken.





## 2 Maatregelen

Doel van de proef is het beproeven van maatregelen voor het duurzaam opheffen van ondergrondverdichting.

Niet alleen zullen de maatregelen op de lange termijn de ondergrondverdichting moeten opheffen, maar er zal ook gekeken moeten worden naar het zo min mogelijk verstoren van de bodem. Een gangbare landbouwpraktijk is woelen, waarbij met een diepere intensieve grondbewerking storende bodemlagen worden doorbroken. Echter, uit eerder onderzoek blijkt dat gewoelde bodems vatbaarder zijn voor herverdichting (Geel et al., 2009). Bovendien zullen verdichte bodemlagen op grotere diepte veel lastiger op te heffen zijn. Als maatregel wordt sporadisch het diepspitten (tot 100 cm) van de bodem toegepast. Als maatregel voor het opheffen van ondergrondverdichting is dit echter een sterk bodemverstorende maatregel.

Na het mechanisch opheffen van bodemverdichting is het belangrijk om de ondergrond te stabiliseren. Beworteling door gewassen kan hierin een belangrijke rol spelen.

Om op korte termijn perspectief te kunnen geven aan akkerbouwers, die te maken hebben met ondergrondverdichting, zal een maatregel al op korte termijn effect moeten hebben. Het introduceren van pendelaar regenwormen (*Lumbricus Terrestris*) en in het algemeen stimuleren van bodemleven kan op termijn helpen bij het oplossen van ondergrondverdichting maar vergt een lange adem.

### 2.1 Mechanisch opheffen

Voor het mechanische opheffen zijn er verschillende methodieken voorhanden. Welke voor- en nadelen kennen.

- a) Woelen van de bodem met woelpoten: Deze methode wordt voornamelijk toegepast na de oogst van rooigewassen om voornamelijk verdichting van rijsporen op te heffen. Er zijn woelpoten die tot zo'n 70 cm diepte kunnen werken. Er is veel energie nodig voor woelen en het woelen zal onder droge omstandigheden moeten gebeuren, om versmering van de ondergrond te voorkomen. De draagkracht van de bodem zal verminderen door dit woelen en het risico op herverdichting is dan ook groot.
- b) Diepspitten of diepploegen: Een radicale methode die ervoor zorgt dat een storende laag doorbroken wordt. De bewerkte bodemlaag wordt echter grotendeels gekeerd of gemengd, waardoor deze methode niet voor alle situaties geschikt is. Door het op de kop zetten van de bodem kan de bewerkbaarheid verbeteren, door het mengen van lichter grond (zand) met een klei bouwvoor. Echter, door het veranderen van de bodemsamenstelling en het verminderen van de draagkracht is deze grond gevoeliger voor herverdichting en is het risico op bodemgebonden plagen (vrijlevende aaltjes) groter.
- c) Sleuven graven met een kettinggraver: Door het graven van geulen waar normaal drainagebuizen ingelegd worden, kunnen diepere verdichte bodemlagen doorbroken worden. Om voldoende effect te hebben, zullen deze sleuven op kortere afstand van elkaar moeten liggen dan normaal voor aanleg drainage gebruikelijk is. Hiermee wordt deze methode sterk verstorend voor de bodem en kan de stabiliteit beïnvloeden. Voordat de grond in de sleuven bezakt en gestabiliseerd is, is een dergelijke bodem gevoeliger voor verdichting.
- d) Denken als een worm: De *Lumbricus Terrestris* regenworm, ook wel bekend als pendelaar, is in staat om verticale gangen te graven tot 100 cm diepte. Daarbij kan deze regenworm ook door verdichte bodemlagen heen graven. Plantenwortels gebruiken deze wormen gangen om naar diepere lagen te groeien en de uitscheidingsproducten van de regenwormen langs de wanden van de gangen kunnen als plantenvoeding dienen. Om de pendelaar regenworm na te bootsen, is er onderzoek

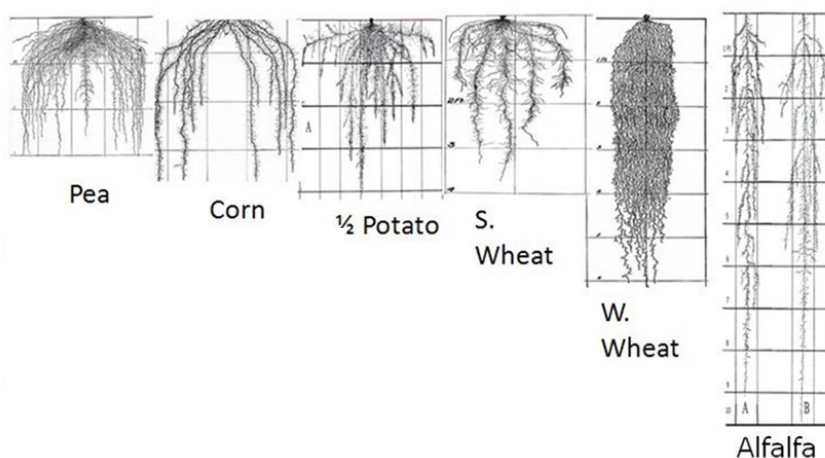
gedaan naar het effect van het doorboren van de bodem met dunne pennen en de invloed hiervan op bodemfysische eigenschappen ( Zhai en Horn, 2017 )

e) Doorboren ondergrond en stabiliseren met substraat: Door mechanisch een verdichte bodemlaag te doorbreken, bijvoorbeeld door gaten te boren, kunnen plantenwortels dieper wortelen en vervolgens de bodem stabiliseren. Echter, er is kans op herverdichting van de bodem na verloop van tijd als de oude bodemlaag 'terugzakt'. Door het vervangen van de verdichte bodemlaag in de geboorde gaten, door een groeimedium (bijvoorbeeld een mengsel van mest, compost of potgrond) kan deze oude bodemlaag niet terugzakken en kunnen plantenwortels deze laag gebruiken als voedingsbodem. Onder extreem natte bodemcondities bestaat het gevaar dat een koolstofrijk substraat verstrendend kan werken. Wanneer ontwatering het hoofddoel is kan gekozen voor grof zand (drainagezand) om een deel van het boorgat op te vullen. Dit zand zal voor plantenwortels echter niet aantrekkelijk zijn om in te groeien en de wortelgroei naar diepere bodemlagen zal hiermee niet gestimuleerd worden.

In de proefopzet is gekozen om maatregel d) en e) verder te onderzoeken. Afhankelijk van de situatie en grondsoort is gekozen voor compost/potgrond of drainagezand als vulling van geboorde gaten. Al referentie voor praktijkmaatregel is woelen in de proef opgenomen. Deze maatregelen worden beoordeeld ten opzichte van een onbehandeld object.

## 2.2 Diepwortelende gewassen

Plantenwortels zijn mede verantwoordelijk voor de samenhang van bodemaggregaten, net als organische stof, schimmelnetwerken en uitscheidingsproducten van bodemleven. Om er na een diepe grondbewerking voor te zorgen dat een bewerkte ondergrond gestabiliseerd wordt, is een snelle bezetting met plantenwortels essentieel. Hierbij spelen diepwortelende gewassen een belangrijke rol. De mate waarin plantenwortels bodemweerstand kunnen overwinnen is verschillend. Van sorghum is bekend dat deze een sterke beworteling kent en ook enigszins verdichte grond kan penetreren. Ook gewassen die een snelle en diepe wortelgroei kennen kunnen een belangrijke rol spelen. Wanneer er ruimte beschikbaar komt in de ondergrond, door een bewerking of bv krimp in kleigrond, kunnen plantenwortels deze ruimte benutten en de ondergrond bezetten met wortels. Een combinatie van gewassen met verschillende typen van beworteling (figuur 1) kunnen een groter deel van de bouwvoor met wortels bezetten en daarmee over een groter deel zorgen voor stabiliteit en draagkracht.



**Figuur 1:** beworteling van verschillende gewassen (v.l.n.r. erwt, mais, aardappel, zomertarwe, wintertarwe, luzerne)

# 3 Proefopzet

Om de maatregelen voor het mechanisch opheffen van ondergrondverdichting te testen is gekozen voor proefvelden op zavel en zand. Bodembewerkingsmaatregelen en beworteling door gewassen worden getest in herhalingen. Anderzijds is gekozen voor het beproeven van maatregelen in de praktijk. Deze praktijkproeven zijn in uitvoering en worden in dit jaarrapport niet besproken.

## 3.1 Lelystad, zavel/kleigrond

Op een perceel wat in het verleden toebehoorde aan de voormalige Waiboerhoeve aan de Wisentweg in Lelystad, nu in beheer van WUR Open Teelten, is in de zomer van 2019 een proef aangelegd. De aanleg werd gefinancierd door Werkpakket 6 Ondergrondverdichting van PPS Beterbodembeheer. Een deel van het perceel gaf in het verleden problemen met wateroverlast. Dit perceel is langere tijd verhuurd geweest aan derden waarbij het aandeel rooigewassen hoog was. De bodemstructuur heeft waarschijnlijk flink te lijden gehad waardoor bodemverdichting is ontstaan.

### 3.1.1 Uitvoering Lelystad

Voor de aanleg van deze proef is een ronde gemaakt langs mogelijk te gebruiken percelen die beheerd worden door WUR Open Teelten. Eerst is gepoogd is om een perceel te gebruiken, waar eerder onderzoek naar ondergrondverdichting heeft gelegen (van Geel, 2009). Bij inspectie bleek echter dat dit perceel, na gebruik voor onderstammenteelt, zeer intensief was bewerkt en daardoor ongeschikt. Vervolgens kwam een andere perceel, waar in het verleden wateroverlast geconstateerd is, als beste tweede keus naar voren. Na inspectie van het perceel in het voorjaar van 2019 is besloten om deze te gebruiken voor de proef. De proef is vervolgens in de zomer van 2019 opgezet.

De plotjes hebben een afmeting van 3 x 20 meter in 4 herhalingen. Zie bijlage 1

De proef is aangelegd met 4 grondbewerkingsobjecten in een graanstoppel:

- a) Onbehandeld (O);
- b) Woelen in 2019 in de graanstoppel (W);
- c) Grote gaten boren in een grid van 75 x 75 cm (Ø 10 cm) tot 60 cm diepte en deze ½ vullen met potgrond (2019) en drainagezand (2020) en andere ½ met uitgeoorde grond (G);
- d) Kleine gaten boren in een grid van 25 x 25 cm (Ø 2 cm) tot 60 cm diepte (P).

Ad c) De grote gaten zijn in 2019 aangelegd over een lengte van 6 meter en er is potgrond gebruikt als vulling van de onderste helft van het boorgat (foto 2). Hierbij is gebruik gemaakt van een palenboor met brandstofmotor, gemonteerd aan een frame. De trekker was uitgerust met een automatisch start/stopsysteem met 75 cm tussen de stops.

In 2020 is een machine gebouwd met 4 hydraulisch aangedreven palenboren, voor een beddenteelt van 3 meter (225 machinebreedte). Deze is gebruikt over de resterende 14 meter van de plots (foto 1). In 2020 is drainagezand gebruikt als vulmiddel.



Foto 1. Grote gatenboor (detail)



Foto 2. Potgrond als vulling.

Ad d) In 2019 is over een lengte van 6 meter een proef aangelegd. In 2019 is voor het maken van kleine gaten gebruik gemaakt van een balk waaraan 4 metalen staven van 2 cm  $\varnothing$  bevestigd zijn. De benodigde om deze staven 60-70 cm in een verdichte bodem te krijgen was aanzienlijk. Daarom is in 2020 besloten om aangedreven steenboren te gebruiken. Hiervoor is gebruik gemaakt van dezelfde machine als voor grondbewerking c), waarbij 10 hydraulisch aangedreven steenboren over een werkbreedte van 225 cm zijn gebruikt om kleine gaten te boren over de resterende 14 meter van de plots (foto 3).



Foto 3. Kleine gatenboor

Na aanleg van de objecten in 2019 en 2020 zijn er groenbemesters ingezaaid. Er zijn in 2019 en 2020 verschillende groenbemesters gebruikt, waarbij er na de aanleg van de objecten in 2020 voor gekozen is om gebruik te maken van meerjarige (diepwortelende) groenbemesters (tabel 1).

**Tabel 1.** Groenbemesters in proefopzet

<b>Object groenbemester</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>Mengsel</b>	Solarigol TR	Italiaans raaigras rietzwenkgras Beemdlangbloem Luzerne Japanse haver Honingklaver Witte klaver Rode klaver Incarnaatklaver
<b>Diepwortelende groenbemester 1</b>	Sudangras	Rietzwenkgras+engels raaigras
<b>Diepwortelende groenbemester 2</b>	Bladrammenas	Luzerne Alexandrijnse klaver

### 3.1.2 Resultaten Lelystad

#### 3.1.2.1 Groeiseizoen 2019 -2020

Na de graanoogst in 2019 waren de omstandigheden om een groenbemester te zaaien gunstig voor normale groenbemesters als het Solarigol mengsel en bladrammenas. Voor sudangras (sorghum) was het tijdstip (begin september) te laat en de opkomst was zeer slecht.

Door de natte omstandigheden in de herfst van 2019 is het perceel pas in maart 2020 geploegd en op 7 april ingezaaid met zomergerst (ras Irina). Bemesting en gewasbescherming waren conform praktijk. Door de slechte structuur van de bovengrond ging de kieming van de zomergerst erg moeizaam en op 13 mei is er voor de eerste keer beregend met 20 mm water. Gedurende de zomer is het perceel nog 1x meeberegend met het naastliggende tulpenperceel, met 20 mm water. De uiteindelijke gewasstand was sterk wisselend en over het algemeen slecht. Half augustus is het perceel geoogst en op 25 en 27 augustus zijn gaten geprikt en geboord.

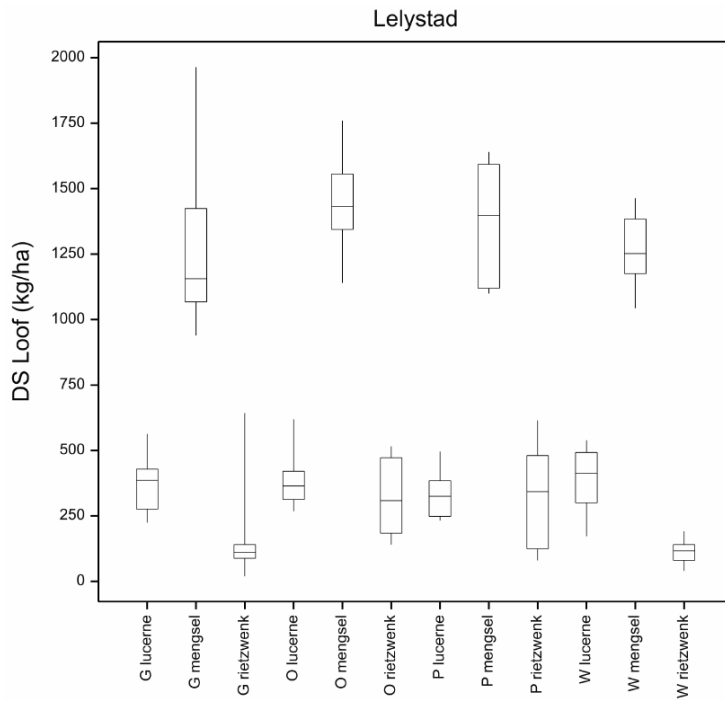
Op 2 september zijn de groenbemesters gezaaid. Ondanks het warme najaar kwam de groei van de groenbemesters slecht op gang.

#### 3.1.2.2 Gewasopbrengst

Door de sterk wisselende stand van het gewas, welke niet te relateren was aan een van de maatregelen, is besloten om geen opbrengstbepaling te doen in de zomergerst maar in de groenbemester.

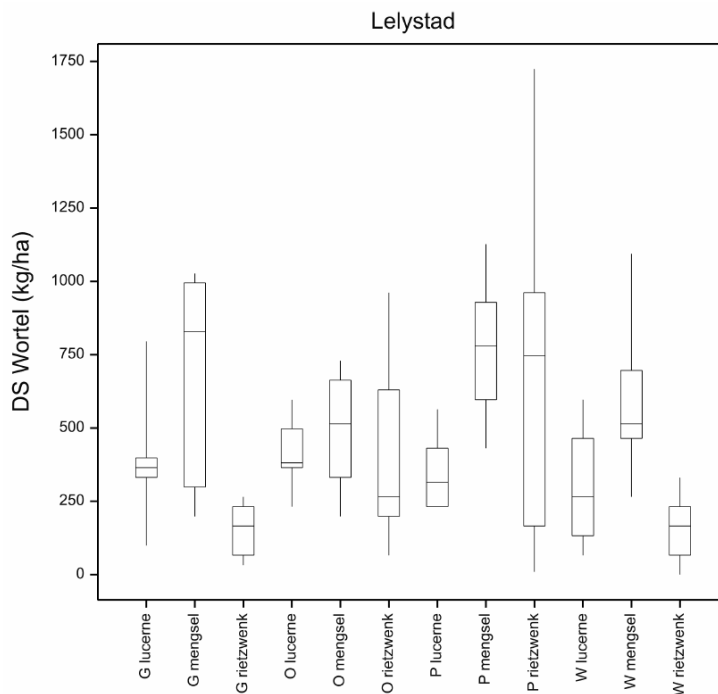
#### 3.1.2.3 Opbrengst groenbemester

De loofopbrengst van de groenbemesters per bodembehandeling is weergegeven in figuur 2. Hierbij zijn de opbrengsten van de in 2019 en 2020 uitgevoerde behandelingen gemiddeld. De horizontale lijn in de box is de mediaan. Van de waarnemingen ligt 50% boven respectievelijk onder deze lijn.



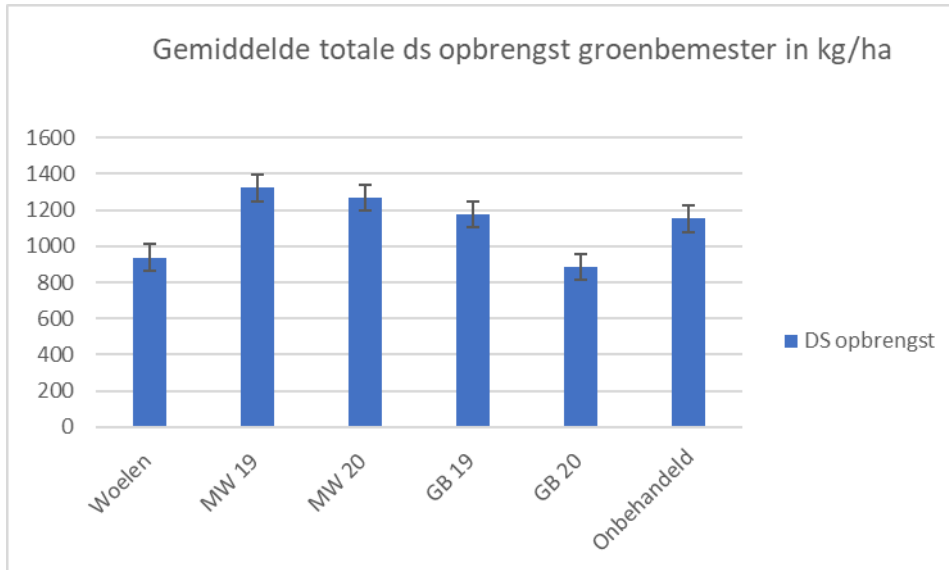
**Figuur 2.** Gemiddelde loof opbrengst per groenbemester en per bodembehandeling

De spreiding in de droge stofopbrengsten van het loof van de groenbemers is groot. De wortelopbrengst van de groenbemers per bodembehandeling is weergegeven in figuur 3. Hierbij zijn de opbrengsten van de in 2019 en 2020 uitgevoerde behandelingen gemiddeld.



**Figuur 3.** Gemiddelde wortel opbrengst per groenbemester en per bodembehandeling

De gemiddelde totale droge stof opbrengst van de groenbemesters, uitgesplitst naar bodembehandelingen uitgevoerd in 2019 en 2020, is voor de verschillende behandelingen als volgt (figuur 4):



**Figuur 4.** Gemiddelde opbrengst per groenbemester voor bodembehandelingen uitgevoerd in 2019 en 2020 (MW=kleine gaten boren, GB = grote gaten boren)

Het lijkt erop dat woelen ten opzichte van de behandelingen in 2019 minder droge stofopbrengst heeft van de groenbemesters dan de overige behandelingen, uitgezonderd het boren van grote gaten in 2020. De droge stofopbrengsten van de kleine en grote gaten geboord in 2019 lijken een wat hogere opbrengst te geven dan de gaten die geboord zijn in 2020.

### 3.1.2.4 Droge bulkdichtheid

Voor de bepaling van de bulkdichtheid zijn ringmonsters van 100 cm<sup>3</sup> genomen op 2 dieptes (15 cm en 30 cm diepte) op 1 plek per veldje. De monsters zijn gewogen, 48 uur gedroogd bij 105°C en terug gewogen. Het resultaat is de droge bulkdichtheid, die is gemiddeld per bodem behandeling (tabel 2) en groenbemesters (tabel3). Voor de behandelingen grote gaten boren en kleine gaten boren zijn de gemiddelde waarden van de velden aangelegd in 2020 genomen.

**Tabel 2.** Droge bulkdichtheid in gram/cm<sup>3</sup> per grondbehandeling

Behandeling	Dry bulk density 15 cm	Dry bulk density 30 cm
<b>Onbehandeld</b>	1.264	1.284
<b>Woelen</b>	1.363	1.285
<b>Grote gaten boren</b>	1.344	1.330
<b>Kleine gaten boren</b>	1.338	1.361

De dichtheid van de grond, uitgedrukt in droge bulkdichtheid lijkt voor het onbehandelde object op een diepte van 15 cm lager dan de overige objecten. Ook op een diepte van 30 cm is de droge

bulkdichtheid laag, maar niet veel lager dan het gewoelde object en het object waar grote gaten zijn geboord. Wel lijken zowel onbehandeld en woelen een lagere dichtheid te hebben dan het object waar kleine gaten geboord zijn.

**Tabel 3.** Droge bulkdichtheid in gram/cm<sup>3</sup> per groenbemester

Groenbemester	Dry bulk density 15 cm	Dry bulk density 30 cm
<b>Groenbemestermengsel</b>	1.326	1.329
<b>Rietzwenkgras</b>	1.344	1.314
<b>Luzerne</b>	1.311	1.302

Ondanks het niet slagen van het sudangras op de plek waar in 2020 het mengsel van rietzwenkgras is ingezaaid, welke eveneens een slechte stand kende, is de bulkdichtheid in deze groenbemesterobjecten niet hoger dan in de andere 2 groenbemers. De bulkdichtheid per bodembehandeling en groenbemester op de twee gemeten dieptes is weergegeven in tabel 4.

**Tabel 4.** Droge bulkdichtheid in gram/cm<sup>3</sup> per grondbehandeling en groenbemester

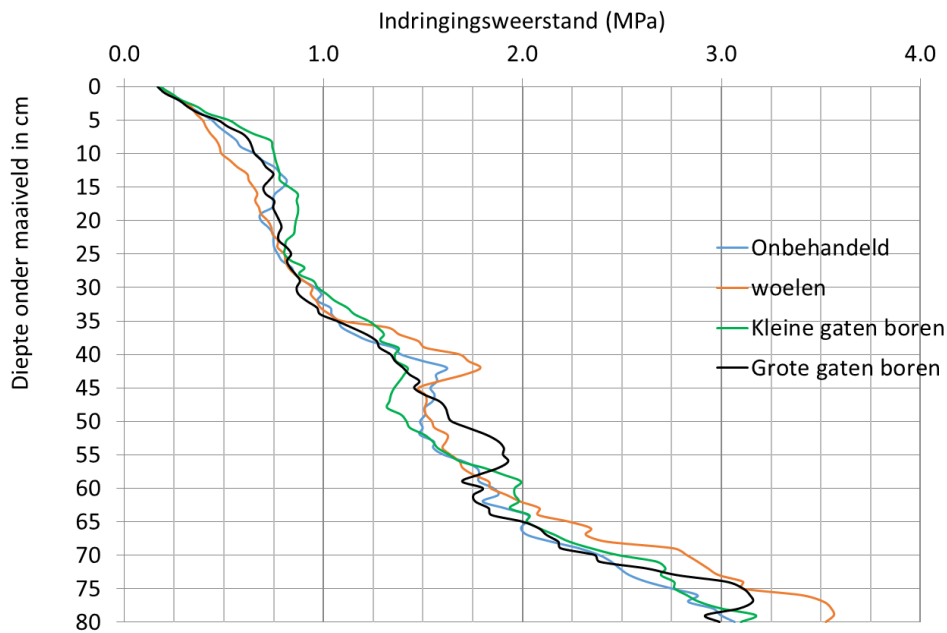
Grondbehandeling en groenbemester	Droge bulkdichtheid 15cm	Droge bulkdichtheid 30 cm
<b>Onbehandeld mengsel</b>	1.261	1.263
<b>Onbehandeld rietzwenkgras</b>	1.298	1.243
<b>Onbehandeld luzerne</b>	1.234	1.245
<b>Woelen mengsel</b>	1.359	1.308
<b>Woelen rietzwenk</b>	1.372	1.276
<b>Woelen luzerne</b>	1.357	1.270
<b>Grote gaten boren mengsel</b>	1.363	1.360
<b>Grote gaten boren rietzwenkgras</b>	1.368	1.277
<b>Grote gaten boren luzerne</b>	1.300	1.354
<b>Kleine gaten boren mengsel</b>	1.322	1.384
<b>Kleine gaten boren rietzwenk</b>	1.339	1.358
<b>Kleine gaten boren luzerne</b>	1.354	1.341

Op een diepte van 15 cm lijkt de droge bulkdichtheid van het object onbehandeld met luzerne lager dan de overige objecten met luzerne. Op een diepte van 30 cm lijken de objecten met woelen weinig te verschillen van de onbehandelde objecten. Het onbehandelde object met luzerne lijkt een lagere droge bulkdichtheid te hebben dan de objecten waar gaten geboord zijn uitgezonderd die met rietzwenkgras.



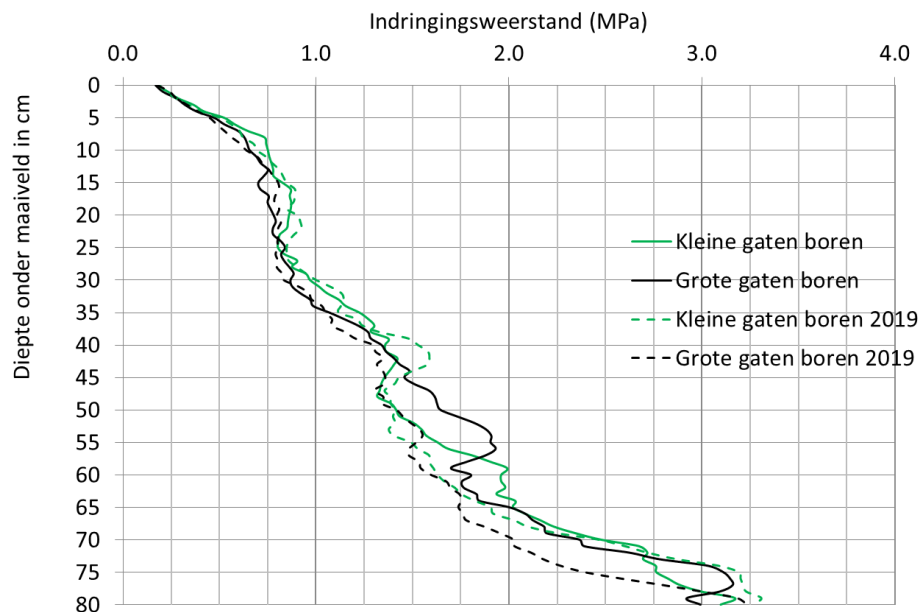
### 3.1.2.5 Indringingsweerstand

In december 2020 zijn de indringingsweerstand gemeten met een penetrologger (Eykelkamp, 1 cm<sup>2</sup> conus, 6 steken per plot). In figuur 5 is het resultaat hiervan weergegeven voor de verschillende bodembehandelingen. In bijlage 2 zijn de indringingsweerstand per groenbemester weergegeven.



**Figuur 5.** Indringingsweerstand per bodembehandeling

De gemeten waarden van de indringingsweerstand liggen dichtbij elkaar. De waarden liggen lager dan gemeten in de nulsituatie (bijlage 9). De vochttoestand van de bodem op moment van meten (december) zal van invloed zijn geweest hierop. Hoe vochtiger de bodem, hoe lager de indringingsweerstand. Het lijkt erop dat het boren van de kleine en grote gaten een effect heeft gehad op het doorbreken van de storende laag onder de bouwvoor (40-45 cm diepte). Ook is de indringingsweerstand in deze laag lager in het deel dat in 2019 is aangelegd (figuur 6). Onder deze laag is vooral de hogere indringingsweerstand van het object met het boren van grote gaten, welke in 2020 is aangelegd, opvallend. In 2020 zijn deze gaten gevuld met drainagezand. Dit grove zand kent een hogere indringingsweerstand dan kleigrond en de potgrond die in 2019 als vulmiddel is gebruikt.



**Figuur 6.** Indringingsweerstand van kleine en grote gaten boren aangelegd in 2019 en 2020

## 3.2 Vredepeel, zandgrond

Ook op zandgrond wordt ondergrondverdichting ervaren. De onderzoek locatie Vredepeel van Wageningen UR Open Teelten heeft percelen op meerdere locaties en er is een perceel gekozen waarvan bekend is dat er sprake is van een verdichte ondergrond. Over het algemeen is de overgang van de humeuze bouwvoor naar een zandondergrond abrupt waardoor deze storend kan werken voor wortelgroei maar ook voor ontwatering en capillaire opstijging.

### 3.2.1 Uitvoering Vredepeel

In 2020 stond er zomergerst op het betreffende perceel en na de oogst hiervan is de proef aangelegd. Het proefveldschema staat in bijlage 3. Na de bemonsteringen in het veld zijn de groenbemesters geklepeld en zijn er peilbuizen aangelegd om nitraatuitspoeling te meten (foto 5). De resultaten van deze metingen zijn niet in deze jaarrapportage opgenomen. De plotjes hebben een afmeting van 6 x 12 meter in 4 herhalingen.

De proef is aangelegd met 4 grondbewerkingsobjecten:

- e) Onbehandeld (O);
- f) Woelen in zomer 2020, 50 cm tussen tanden, werkdiepte 35 cm (foto 4) (W);
- g) Grote gaten boren in een grid van 75 x 75 cm (Ø 10 cm) tot 60 cm diepte, en deze ½ vullen met compost en andere ½ met uitgeoorde grond (G);
- h) Kleine gaten boren in een grid van 25 x 25 cm (Ø 2 cm) tot 60 diepte (P).

Ad g) Er is gebruik gemaakt van dezelfde machine voor het boren van gaten als in Lelystad. Naast het boren van gaten in een grid van 75 x 75 cm, zijn er op 2 veldjes naast het proefveld in enkelvoud gaten geboord in een grid van 75 x 150 cm. Ook is er in 2 veldjes geen compost maar drainagezand als vulmiddel gebruikt voor de gaten.

Ad h) Er is gebruik gemaakt van dezelfde machine voor het boren van kleine gaten als in Lelystad.



Foto 4. Woeler Vredepeel



Foto 5. Proefveld met peilbuis

Als groenbemester na het boren van de gaten is gebruik gemaakt van de volgende soorten (tabel 5):

**Tabel 5** Groenbemester gebruikt op proefveld Vredepeel

Object groenbemester	2020
Groenbemester 1	Bladrammenas
Groenbemester 2	Japanse haver
Groenbemester 3	Rietzwenkgras+engels raaigras

In de extra objecten met het grid van 150x75 cm, opgevuld met drainagezand en compost, is bladrammenas als groenbemester ingezaaid.

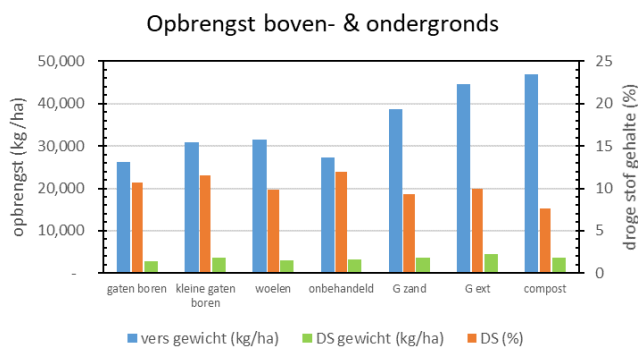
### 3.2.2 Resultaten Vredepeel

#### 3.2.2.1 Gewasopbrengst Vredepeel

Voor de bepaling van de bovengrondse gewasopbrengsten (loof) van groenbemesters zijn veldjes bemonsterd van 0,25 m<sup>2</sup> (50x50 cm). Voor de bepaling van de ondergrondse biomassa (wortels) zijn uit de bemonsterde veldjes voor bovengrondse biomassa telkens 3 steken grond uitgenomen met een wortelmonsterboor (diameter 8 cm, bemonsterd 0-30 cm). Deze grondmonsters zijn gespoeld. Voor het bepalen van droge stof gehalte zijn de monsters 48 uur gedroogd bij 70 °C. De statistisch verwerkte opbrengsten van de onder- en bovengrondse biomassa van de grondbehandelingen, groenbemesters en combinatie grondbehandeling/groenbemester staan in bijlage 8.

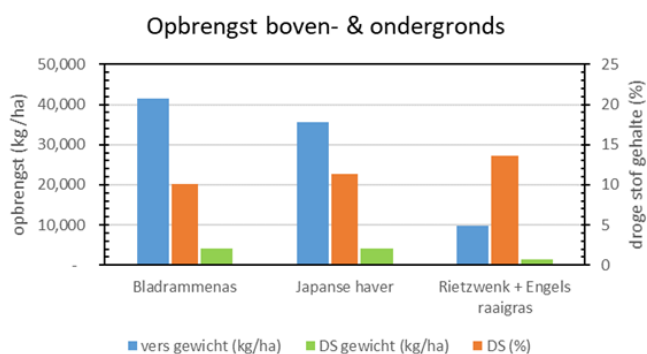
#### 3.2.2.2 Opbrengst groenbemester bovengronds en ondergronds Vredepeel

De opbrengsten van de groenbemesters van het totaal van boven- en ondergrondse biomassa van zowel de objecten in herhalingen als de extra objecten zijn weergegeven in figuur 7 en 8 . De opbrengsten van de afzonderlijke groenbemesters per behandeling staan in bijlage 4.



**Figuur 7.** Totaalopbrengst van boven- en ondergrondse biomassa in versgewicht, droge stof opbrengst en droge stofgehalte per grondbehandeling (Gzand = grote gaten vullen met drainagezand, Gext = grote gaten in grid 75x150 cm, compost = compost aanvoeren volvelds)

De versgewichten van de groenbemesters en droge stofgewichten van de groenbemesters verschillen weinig voor de behandelingen die in de proef zelf liggen (grote gaten boren, kleine gaten boren, woelen, onbehandeld) en zijn niet significant verschillend. De extra objecten (grof zand, grote gaten extensief en compost) laten hogere versgewichten maar ook lagere droge stof gehalten zien. Deze behandelingen liggen allemaal aan de oostkant van het proefveld.

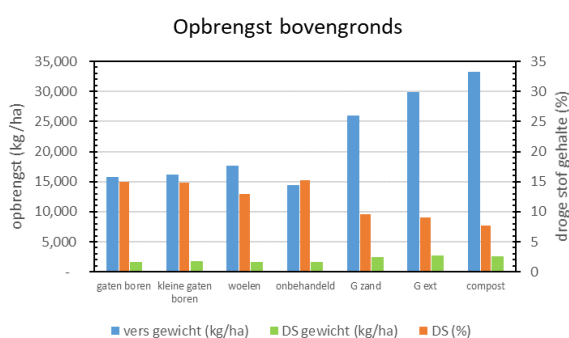


**Figuur 8.** Totaalopbrengst van boven- en ondergrondse biomassa in versgewicht, droge stof opbrengst en droge stofgehalte per groenbemester.

De versgewicht en droge stofopbrengst van bladrammenas en Japanse haver zijn weinig verschillend. Het mengsel rietzwenkgras met Engels raaisgras blijft achter in zowel opbrengst van verse massa als droge stofopbrengst.

### 3.2.2.3 Opbrengst groenbemester bovengronds Vredepeel

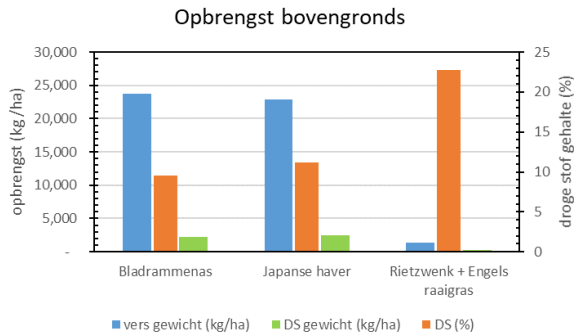
De bovengrondse droge stofopbrengst van de groenbemers voor de verschillende grondbehandelingen en de extra behandelingen staan in figuur 9. De bovengrondse opbrengst per groenbemester staat in bijlage 5.



**Figuur 9.** Bovengrondse biomassa in versgewicht, droge stofgehalte en droge stof opbrengst van de grondbehandelingen.

Net als de totaalopbrengsten van de groenbemers zijn de verse en totaalopbrengst van de 4 grondbehandelingen in de proef weinig verschillend van elkaar en de extra behandelingen kennen een hogere opbrengst. Er is geen significant verschil gemeten in versgewicht en droge stofopbrengst tussen de 4 behandelingen.

De bovengrondse opbrengst van de verschillende groenbemers is weergegeven in figuur 10.

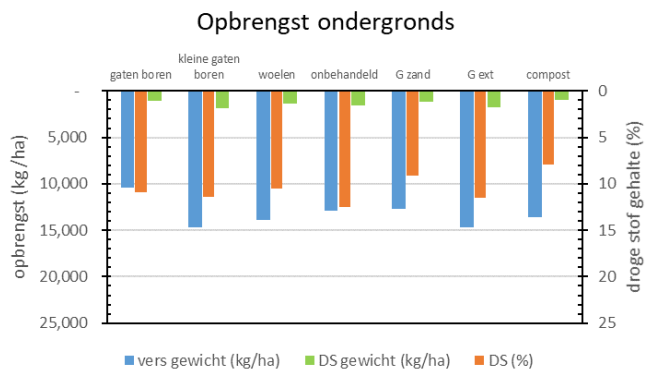


**Figuur 10.** Bovengrondse biomassa in versgewicht, droge stofgehalte en droge stof opbrengst van de groenbemesters.

Het mengsel rietzwenkgras met Engels raai gras laat hier een nog lagere opbrengst in versgewicht en droge stofgewicht zien dan de andere twee groenbemesters zien, dan in het totaalgewicht van boven en ondergrondse biomassa (figuur 8).

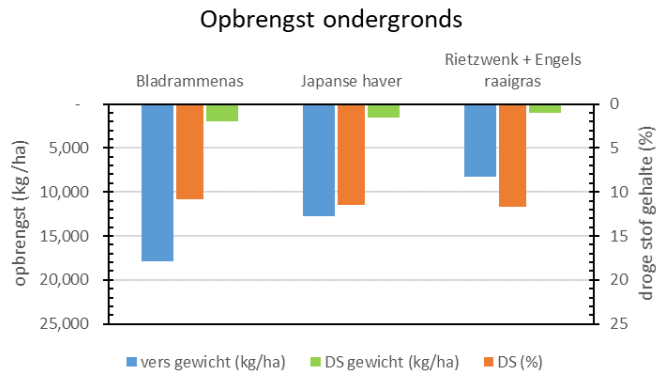
### 3.2.2.4 Opbrengst groenbemesters ondergronds Vredepeel

De ondergrondse droge stofopbrengst van de groenbemesters voor de verschillende grondbehandelingen en de extra behandelingen staan in figuur 11. De ondergrondse opbrengst per groenbemester staat in bijlage 6.



**Figuur 11.** Ondergrondse biomassa in versgewicht, droge stofgehalte en droge stof opbrengst van de grondbehandelingen.

Ook hier is er geen significant verschil in wortelopbrengst tussen de verschillende grondbehandelingen die in de proef liggen (onbehandeld, woelen, grote en kleine gaten boren). De ondergrondse opbrengst van groenbemesters is weergegeven in figuur 12



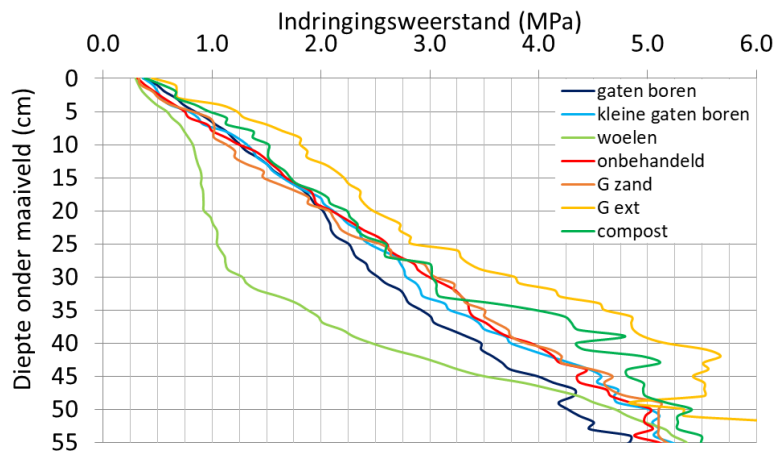
**Figuur 12.** Ondergrondse biomassa in versgewicht, droge stofgehalte en droge stof opbrengst van de groenbemesters.

### 3.2.2.5 Droge bulkdichtheid

De bulkdichtheid is in 2020 niet gemeten op proeflocatie Vredepeel.

### 3.2.2.6 Indringingsweerstand

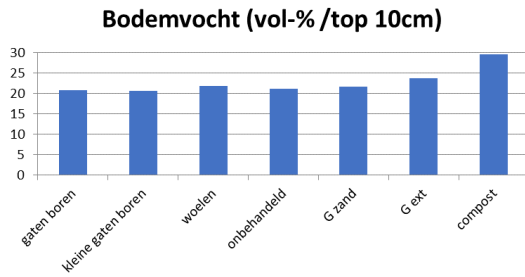
Op 14 december 2020 zijn de veldjes bemonsterd met een Eijkelkamp penetrologger (conus 1 cm<sup>2</sup>, tophoek 60°, 6 random steken per veldje) om de indringingsweerstand te bepalen. De resultaten van de metingen per groenbemester staan in bijlage 7. In figuur 13 zijn de indringingsweerstand van de verschillende behandelingen opgenomen alsmede de extra objecten die zijn aangelegd.



**Figuur 13.** Indringingsweerstand per grondbehandeling tot een diepte van 55 cm.

Tot 51 cm is de indringingsweerstand van het object woelen significant lager dan de overige grondbehandelingen uit de proef (grote gaten boren, kleine gaten boren en onbehandeld).

Tijdens de meting met de penetrologger werd tevens het vochtgehalte bepaald in de bovenste 10 cm van de bouwvoor (figuur 14)



**Figuur 14.** Vochtgehalte van de bovenste 10 van de bouwvoor tijdens meting indringingsweerstand

Het vochtgehalte van de bovenlaag in de grondbehandelingen welke in de proef zijn opgenomen (grote gaten boren, kleine gaten boren, woelen en onbehandeld) verschillen weinig van elkaar. Het buitenproef veldje met alleen compost toevoeging kent wel een beduidend hoger vochtgehalte.





## 4 Conclusie en discussie

Zandgrond: Met het woelen van een verdichte laag op zandgrond is het mogelijk om de indringingsweerstand in de bouwvoor drastisch te verlagen. Deze lagere indringingsweerstand heeft echter geen invloed op de biomassa van de groenbemester in verse product en droge stof.

Kleigrond: De droge stof opbrengst van de groenbemesters voor de grondbehandeling waarbij grote gaten geboord zijn in 2019 op kleigrond, lijkt hoger te zijn dan die van de in 2020 geboorde gaten. Het kan zijn dat de grondbehandeling enige tijd nodig heeft voordat deze een effect laat zien. Mogelijk kan het vulmateriaal wat gebruikt is van invloed zijn. In 2019 zijn de grote gaten gevuld met potgrond en in 2020 met drainagezand. Drainagezand zal voornamelijk zorgen voor de ontwatering en is niet aantrekkelijk voor plantenwortels, vanwege het ontbreken van voedingsstoffen.

Door de huidige opzet van de proef met ondergrondverdichting in Lelystad is het lastig om de afzonderlijke maatregelen te testen. Het object dat onbehandeld is in 2019 en 2020 lijkt een hogere biomassa te geven dan de grondbehandelingen. In de herfst van 2018 is het proefperceel beoordeeld op ondergrondverdichting. Bij de beoordeling werd rond de 40 cm diepte een storende laag aangetroffen. Bij de start van de proef is de indringingsweerstand van het perceel in kaart gebracht (bijlage 9). De verschillen tussen de verschillende velden lijken gering, maar wellicht heeft dit een grotere invloed op het presteren van de behandelingen dan gedacht. De eerder geconstateerde storende laag komt niet naar voren in de metingen, wat beïnvloed kan zijn door de vochttoestand bij meten. Het object woelen ligt aan de westkant van het proefveld, vervolgens kleine gaten boren, grote gaten boren en vervolgens onbehandeld. Vooral het object onbehandeld kent een lagere indringingsweerstand in de ondergrond. Bij de verwerking van de eindresultaten zal er rekening gehouden moeten worden met deze uitgangssituatie. Tussen de objecten in ligt een onbehandelde bufferstrook van 3 meter. Deze kan als controleobject in de volgende metingen meegenomen worden.

# Literatuur

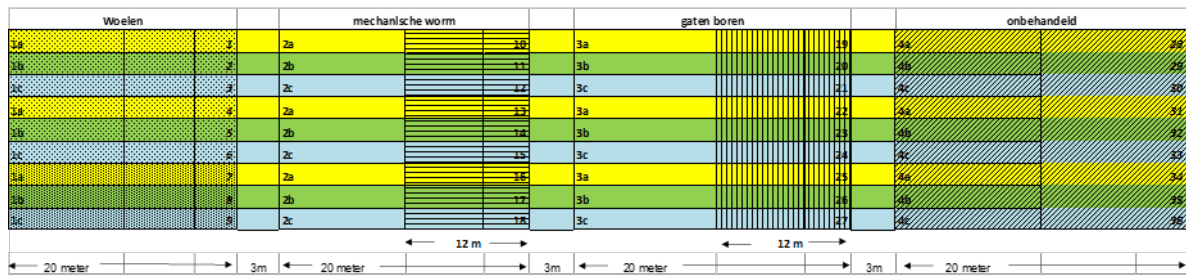
Akker van den J.J.H, Groot de W.J.M, Een inventariserend onderzoek naar de ondergrondverdichting van zandgronden en lichte zavel, Alterra-rapport 1450, Wageningen, 2008

Akker J.J.H. van den, Vries de F. , Vermeulen G.D , Hack-ten Broeke M.J.D., Schouten T. , Risico op ondergrondverdichting in het landelijk gebied in kaart, Alterra-rapport 2409, ISSN 1566-7197, <http://edepot.wur.nl/251636>, Wageningen, 2013

Geel van W.C.A, Dekker P.H.M, Groot de W.J.M., Verbetering structuur ondergrond, PPO nr. 32 50055100, 2009

Zhai X., Horn R., Effect of static and cyclic loading including spatial variation caused by vertical holes on changes in soil aeration, Soil and Tillage research, november 2017

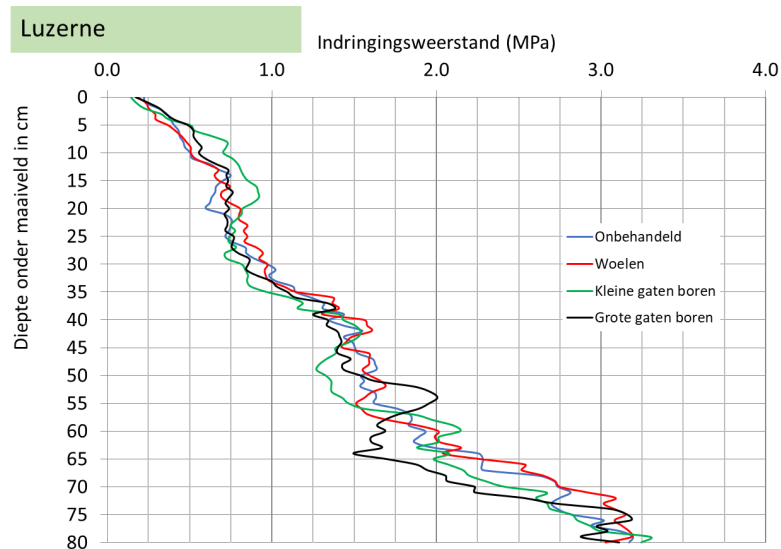
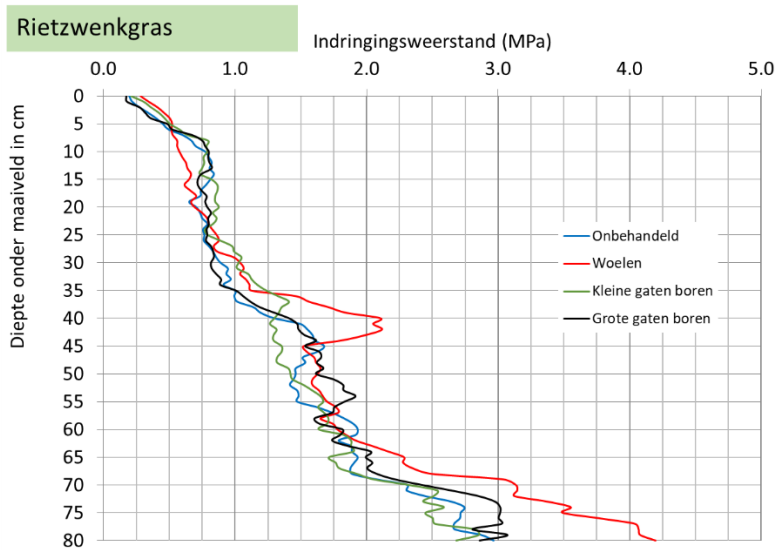
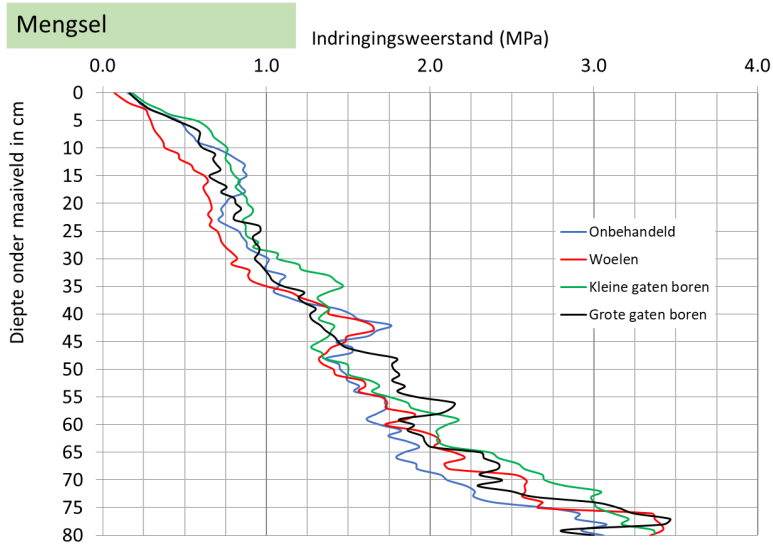
# Bijlage 1 Proefveld Lelystad



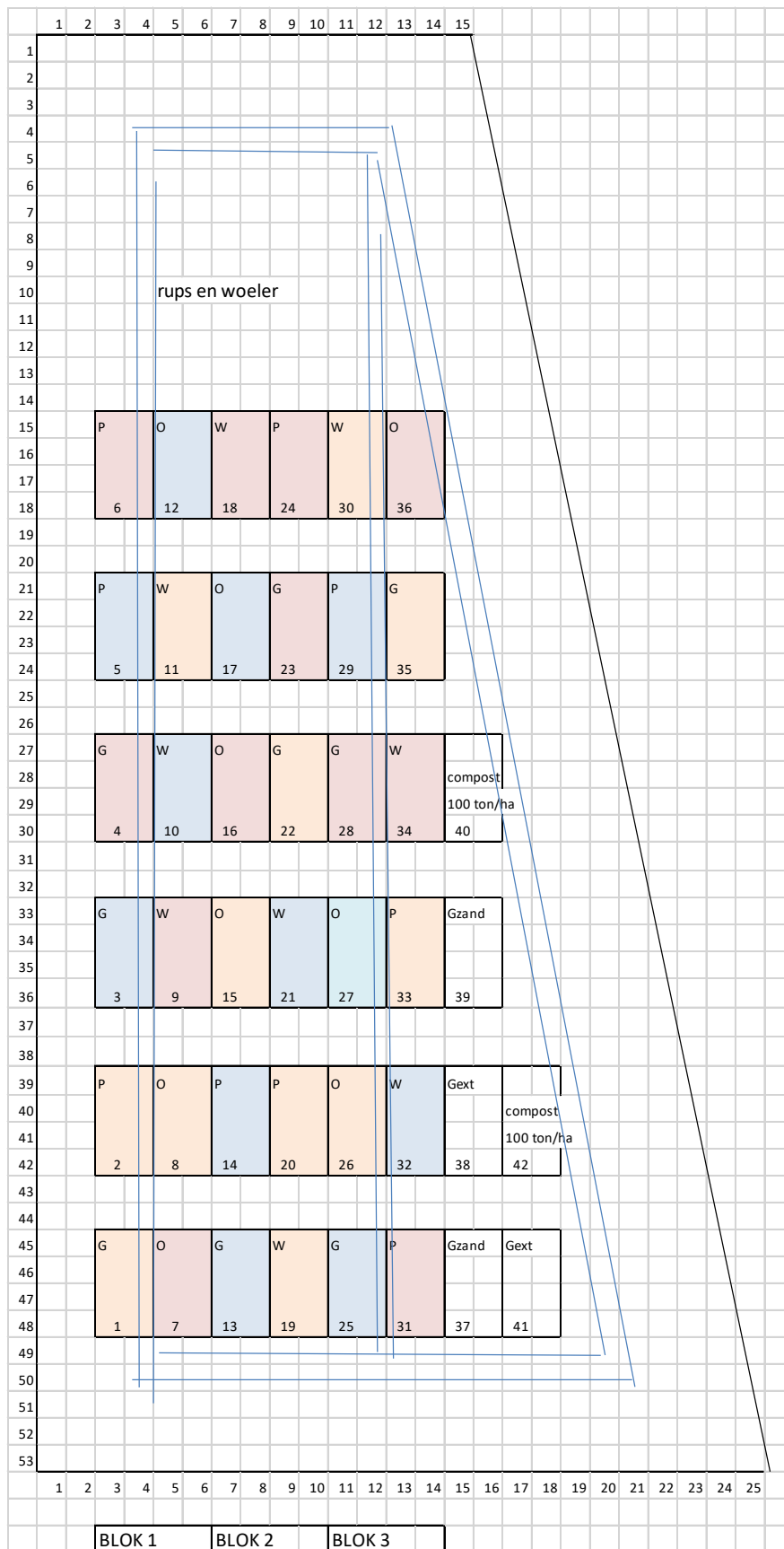
Bodembewerking			
<b>1. Woelen</b>			
<b>2. Mechanische worm</b>			
<b>3. Organische stof in ondergrond</b>			
<b>4. Nulobject</b>			






Gewassen		2019	
a Diepwortelende groenbemester 1	Solarigol TR	35 kg/ha	
b Diepwortelende groenbemester 2	Sudangras	15 kg/ha	
c Standaard groenbemester	Bladrammenas	30 kg/ha + 30 kg N	

# Bijlage 2 Indringingsweerstand Lelystad per groenbemester



# Bijlage 3 Proefveld Vredepeel



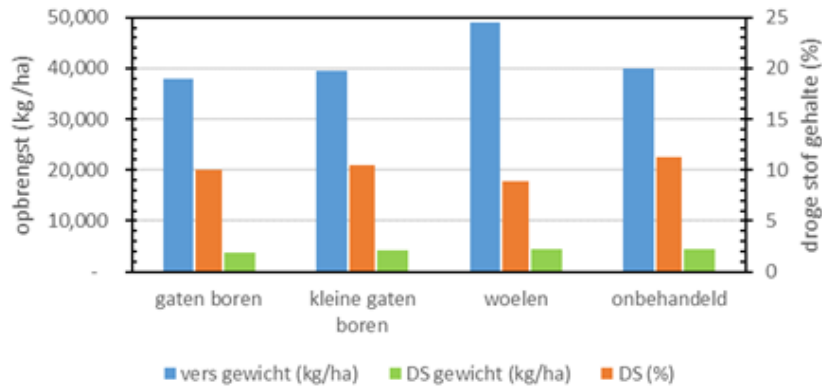
	Spuitsporen	
	3x 3 meter	
	groenbemester 1 20 kg Bladrammenas Angus	
	groenbemester 2 80 kg Japanse haver	
	groenbemester 3 20 rietzwenkgras Proterra en 10 kg Engels raaigras	
G	gaten boren	Gaten boren met palenboor in grid 75 x 75 cm tot 60 cm onderste helft opvullen met compost rest opvullen met opgeboorde grond
P	kleine gaten boren	Gaatje boren met lange steenboor in grid 25 x 25 cm, gaatje NIET opvullen
W	Woelen	Woeler met vaste tand om storende laag te doorbreken
O	onbehandeld	Geen bewerking, wel groenbemester
G zand		Gaten boren met palenboor in grid 75 x 75 cm tot 60 cm onderste helft opvullen met grof zand rest opvullen met opgeboorde grond
G ext		Gaten boren met palenboor in grid 150 x 150 cm tot 60 cm onderste helft opvullen met compost rest opvullen met opgeboorde grond



# Bijlage 4 Opbrengsten groenbemester Vredepeel

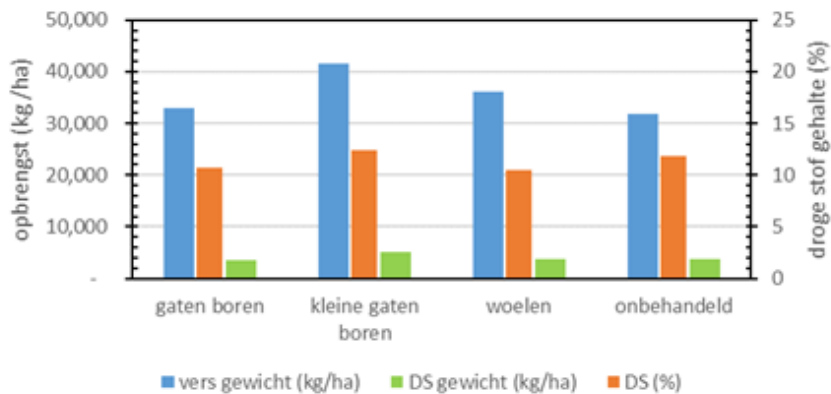
## Bladrammenas

### Opbrengst boven- & ondergronds



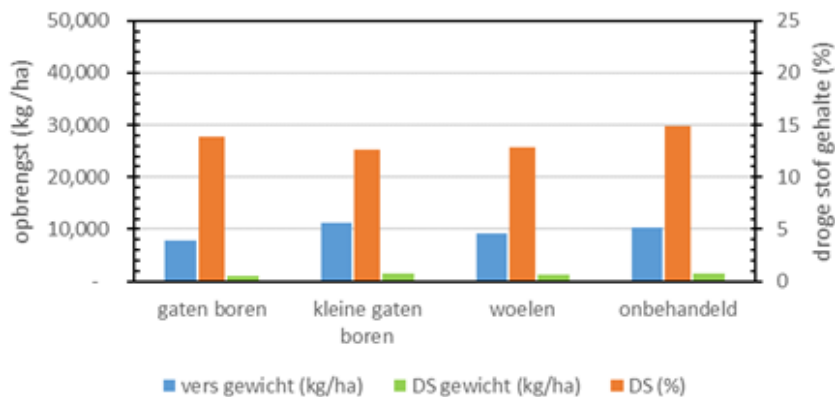
## Japanse haver

### Opbrengst boven- & ondergronds



## Rietzwenk + Engels raai gras

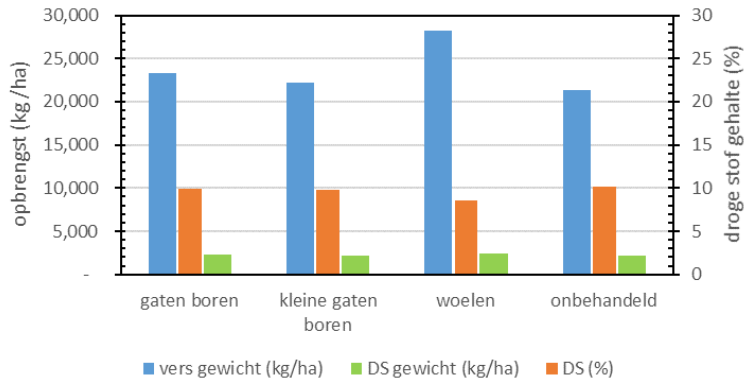
### Opbrengst boven- & ondergronds



# Bijlage 5 Opbrengsten bovengronds per bodembehandeling Vredepeel

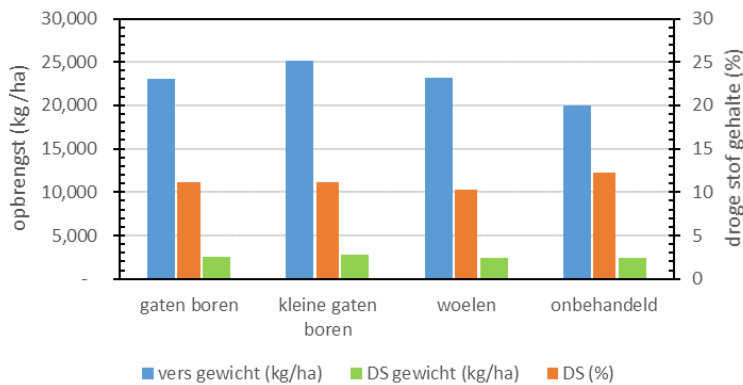
## Bladrammenas

### Opbrengst bovengronds



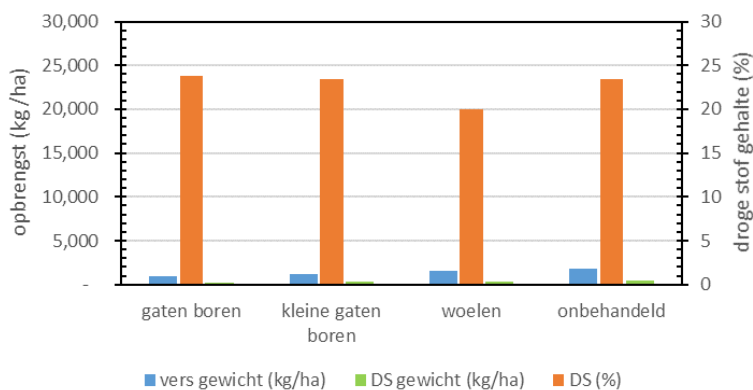
## Japanse haver

### Opbrengst bovengronds



## Rietzwenk + Engels raigras

### Opbrengst bovengronds

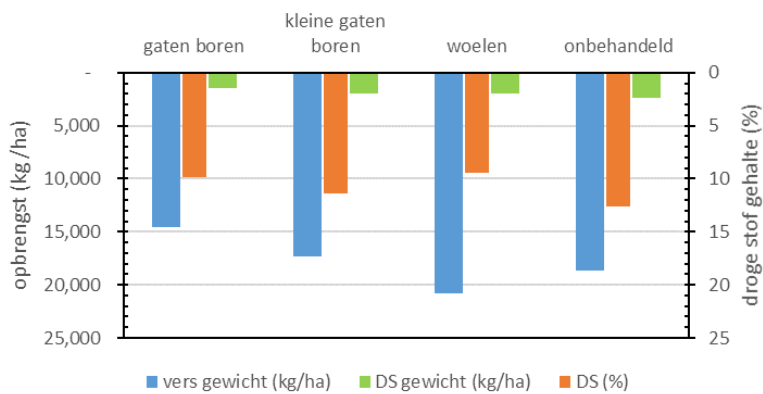




# Bijlage 6 Opbrengsten ondergronds groenbemesters Vredepeel

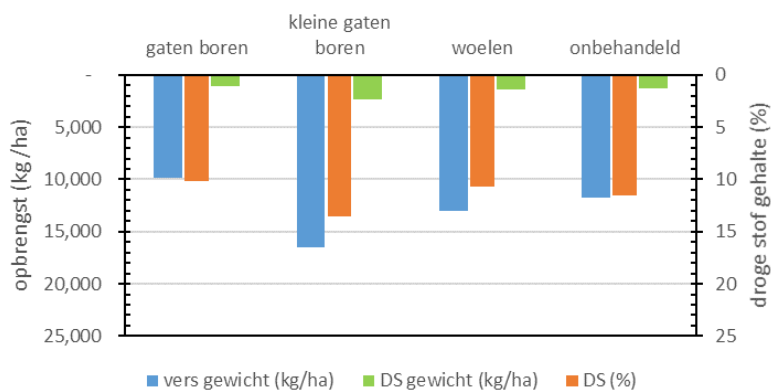
## Bladrammenas

### Opbrengst ondergronds



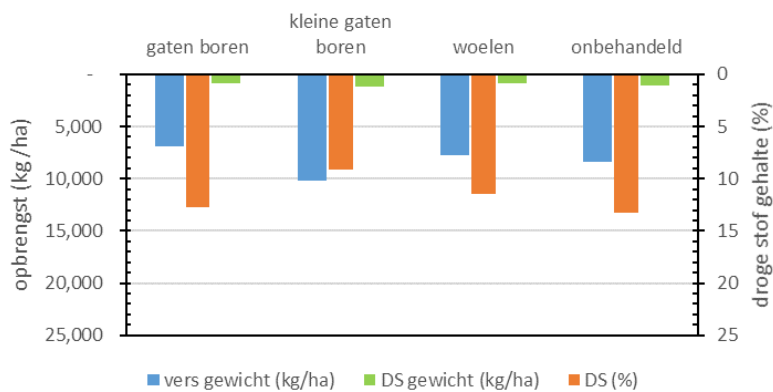
## Japanse haver

### Opbrengst ondergronds

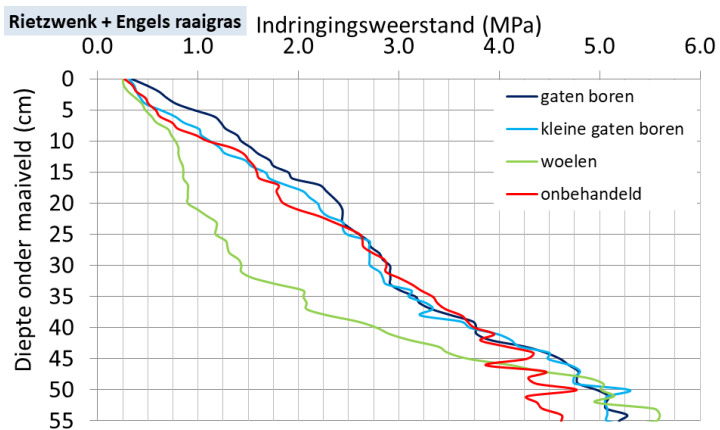
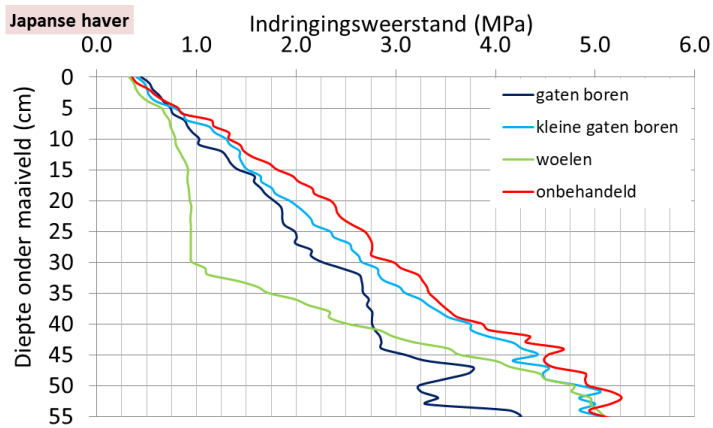
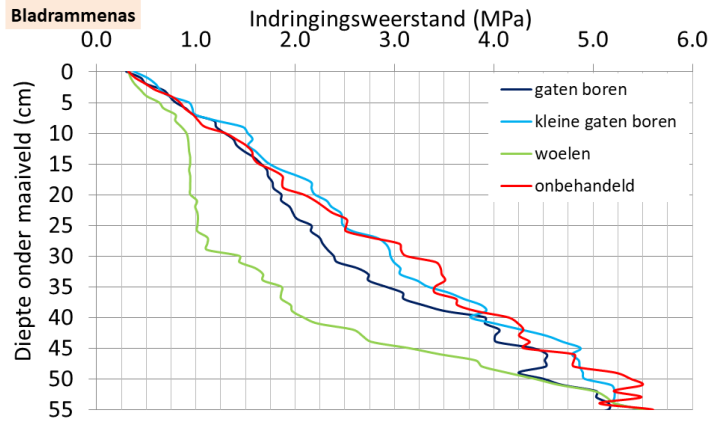


## Rietzwenk + Engels raai gras

### Opbrengst ondergronds



# Bijlage 7 Indringingsweerstand Vredepeel per groenbemester en grondbewerking



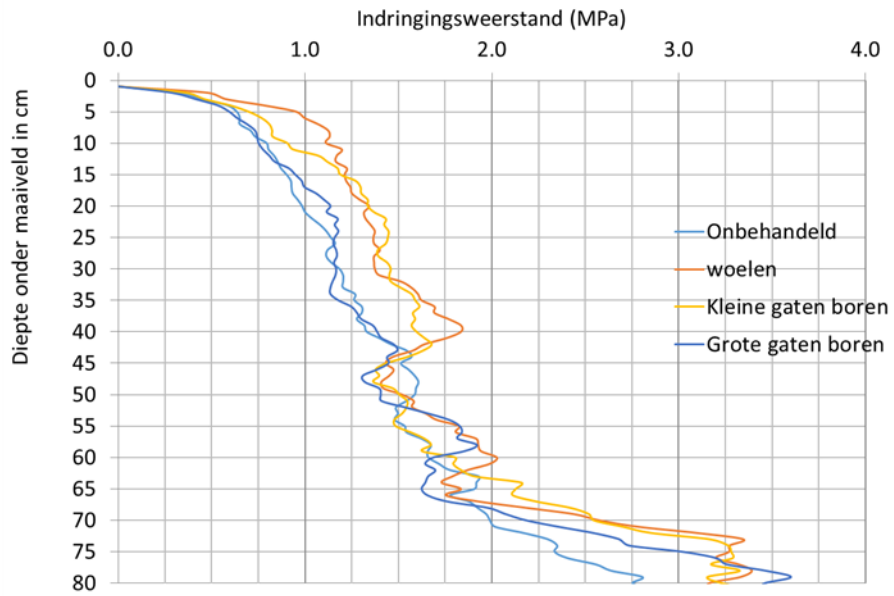
# Bijlage 8 Opbrengst groenbemester Vredepeel

Grondbehandeling	Bovengrondse biomassa			Ondergrondse biomassa		
	droge stof %	vers gewicht kg/ha	droge stof kg/ha	droge stof %	vers gewicht kg/ha	droge stof kg/ha
G: grote gaten boren	14.97	11122	1237	10.92	10419	1113
O: onbehandeld	15.28	10680	1322	12.47	12942	1595
P: kleine gaten prikken	14.80	10615	1195	11.38	14656	1827
W: woelen	12.96	12585	1340	10.50	13852	1407
Lsd Students t	0.915	2635	325.3	3.080	3955	635.4
F pr.	<0.001	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Groenbemester	Bovengrondse biomassa			Ondergrondse biomassa		
	droge stof %	vers gewicht kg/ha	droge stof kg/ha	droge stof %	vers gewicht kg/ha	droge stof kg/ha
bladrammenas	9.59	15204	1455	10.83	17833	1929
Japanse haver	11.20	15813	1763	11.49	12768	1525
rietzwenk	22.71	2735	603	11.64	8300	1003
Lsd Students t	0.793	2282	281.7	2.668	3425	550.3
F pr.	<0.001	<0.001	<0.001	n.s.	<0.001	<0.01

Grondbehandeling+ groenbemester	Bovengrondse biomassa			Ondergrondse biomassa		
	droge stof %	vers gewicht kg/ha	droge stof kg/ha	droge stof %	vers gewicht kg/ha	droge stof kg/ha
G bladrammenas	9.95	16751	1669	9.89	14523	1459
G Japanse haver	11.13	14820	1611	10.15	9870	1028
G rietzwenk	23.82	1796	432	12.70	6864	851
O bladrammenas	10.15	12688	1289	12.64	18679	2343
O Japanse haver	12.19	16399	2000	11.54	11749	1337
O rietzwenk	23.49	2953	677	13.23	8400	1105
P bladrammenas	9.73	14097	1368	11.38	17330	1978
P Japanse haver	11.16	15825	1767	13.59	16479	2343
P rietzwenk	23.49	1923	449	9.18	10157	1161
W bladrammenas	8.51	17280	1493	9.40	20801	1934
W Japanse haver	10.32	16208	1675	10.66	12976	1393
W rietzwenk	20.04	4268	852	11.46	7781	895
Lsd Students t	1.585	4564	563.4	5.335	6851	1101
F pr.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

# Bijlage 9 Indringingsweerstand Lelystad nulsituatie (19 augustus 2019)



---

Correspondentie adres voor dit rapport:  
Postbus 430  
8200 AK Lelystad  
T 03200 29 11 11  
[www.wur.nl/plant-research](http://www.wur.nl/plant-research)

Rapport WPR-875



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers (5.500 fte) en 12.500 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



---

Wageningen University & Research

**Open Teelten**

Edelhertweg 1

Postbus 430

8200 AK Lelystad

T (+31)320 29 11 11

**[www.wur.nl/openteelten](http://www.wur.nl/openteelten)**

Rapport WPR 875

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 12.500 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

---