PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN UR

Input-output Fase II

- Verificatie Input-Output fase I
- Invloed vochtgehalte op afbraak organische stof
- Data van 4 teeltbedrijven

Anton Sonnenberg & Chris Blok

Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR
Business Unit Plant Breeding/WUR-Glastuinbouw
Juni 2012

Rapport 2012-5



PLANT RESEARCH INTERNATIONAL

WAGENINGEN UR

© 2012 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO)
Alle intellectuele eigendomsrechten en auteursrechten op de inhoud van dit document behoren uitsluitend toe aan de Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO). Elke openbaarmaking, reproductie, verspreiding en/of ongeoorloofd gebruik van de informatie beschreven in dit document is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.
Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Plant Research
DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR
Business Unit Plant Breeding

Adres : Postbus 386, 6700 AJ Wageningen
: Wageningen Campus, Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
Tel. : 0317 – 48 13 36
Fax : 0317 – 41 34 57
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

1. Samenvatting 3

1. Inleiding 4

2. Reproduceerbaarheid Teelt en Analyse 5

3. Invloed vocht op afbraak in onderste laag compost 6

4 Mycelium 8

4 Data van teeltbedrijven 10

4.1 Vochtgehalte in de compost 10
4.2 Afbraak van de compost 10

12

5 Vergelijk NIR en chemisch lab 13

14

6 Discussie 15

Appendix Zuurstof en koolzuurgas metingen 16

1. Samenvatting

In deze tweede fase van het input-output project is weer de afbraak van de compost in drie lagen in de tijd gemeten. Dit is gedaan zoals in de vorige proef en tevens zijn behandelingen aangelegd om het vochtgehalte in de onderste laag compost te varieëren. Daarnaast zijn 2 plukbedrijven en 2 snijbedrijven bemonsterd om te kijken of de gemeten data bij de teelt van Unifarm overeenkomen met die van praktijkbedrijven. Daarnaast zijn een aantal metingen van de NIR gecontroleerd met nat-chemische analysen.
De conclusies zijn:

- De behandeling in deze vervolgproef geeft vrijwel dezelfde waarden in afbraak van de compost in de tijd als die van de vorige proef. Dit toont de reproduceerbaarheid van het experiment aan.
- Door het watergeven en de bodemtype te variëren hebben we verschillen in het vochtgehalte van de onderste laag kunnen bewerkstelligen. Er is een correlatie tussen de afbraak van droge stof in de onderste laag compost en het vochtgehalte. Des te natter des te minder afbraak. De lager afbraak wordt bijna helemaal veroorzaakt door minder afbraak van hemicellulose. De verschillen in afbraak zijn niet terug te vinden in verschillen in opbrengst.
- De trend in afbraak van de verschillende koolstofcomponenten in de compost (hemicellulose, cellulose en lignine) komen *grosso modo* overeen met wat we bij de teelt van Unifarm meten. Het vochtverloop in de composten bij teelt bedrijven loopt anders dan bij Unifarm. Dat wordt veroorzaakt door anders watergeven. Ook bij de praktijkbedrijven zie je de trend: hoe natter de onderste laag des te slechter breekt hemicellulose af.
- De bepaling van de hoeveelheid mycelium in de compost is verbeterd. De hoeveelheid mycelium neemt iets toe vanaf vullen tot knopvorming en verdubbeld dan bijna vanaf de knopvorming t/m vlucht 1. T/m vlucht 2 stijg de hoeveelheid mycelium nog een beetje. Deze trend is de vorige keer niet waargenomen (alleen stijging tot knopvorming en daarna slechts geringe stijging). De totale hoeveelheid mycelium (biomassa) die nodig is om champignons te produceren ligt in dezelfde orde van grote als de twee vluchten champignons. Opmerkelijk is ook dat deze stijging bijna hetzelfde is als er geen champignons gevormd worden (niet afdekken).
- De totale stikstofbepalingen bij de NIR methoden wijken af van die van de chemische metingen. De bepalingen van het chemisch lab lijken beter aan te sluiten wat wordt verwacht: Opname door de champignon in de tijd. De bepaling van de totale hoeveelheid droge stof komt in beide bepalingen redelijk overeen. Nat-chemische bepaling van de koolstofbronnen kunnen pas later worden uitgevoerd door capaciteitsproblemen op het lab.
- De sensoren die gebruikt zijn om CO_2, O_2 en T te meten blijken niet de gewenste betrouwbaarheid te hebben geleverd om bruikbare getal te produceren.

1. Inleiding

In het verleden zijn diverse studies gedaan aan klimaat, substraat en het uiteindelijke product, de champignon. Hierdoor zijn kwaliteit en opbrengt sterk verbeterd. Toch is er onvoldoende kennis over wat precies de opbrengst en de kwaliteit van het product bepaalt. Leemte in deze kennis verhindert dat er doelgericht een grote stap vooruit gemaakt kan worden in de ontwikkeling van nieuwe productiesystemen. Het input-output project heeft als doel het huidige systeem beter te begrijpen, bloot te leggen waar de grenzen van het systeem liggen en waar kansen liggen voor verbetering op korte termijn. Gezien het aandeel van de kosten van het substraat in de teelt (ca. 40%) en de oplopende kosten van de grondstoffen is het gewenst dat dit substraat efficiënter benut wordt. Daarmee is, bij gelijkblijvende productiehoeveelheid, ook minder transport en minder reststromen gemoeid en wordt het systeem duurzamer.
In de eerste fase van het Input-output project hebben we meer inzicht in het systeem gekregen door balansen op te stellen voor koolstof, water en energie. Daarnaast heeft analyse van de compost aangetoond dat slechts 16% van de droge stof in twee vluchten wordt afgebroken. Gecorrigeerd voor as is dat 25% van het organische materiaal. Daarbij zijn verschillen te zien in de afbraak tussen de bovenste en middelste laag enerzijds en de onderste laag anderzijds. De onderste laag loopt achter en is beduidend natter dan de bovenste en tussenlaag.
Voor een verbetering op korte termijn is in ieder geval een verhoging van de efficiëntie van het huidige systeem gewenst.
In deze tweede fase zijn een aantal experimenten en analysen gedaan die aansluiten op de eerste fase:

- Herhalen van de experimentele teelt om de betrouwbaarheid van de cijfers te onderbouwen
- Het toepassen van een aantal behandelingen in deze experimentele teelt om het vochtgehalte van de onderste laag te beïnvloeden en daarmee te achterhalen of dit invloed heeft op de afbraak van organische stof
- Gegevens verzamelen van 4 teeltbedrijven om een vergelijk te kunnen maken met data uit praktijkbedrijven.
- Een aantal bepalingen laten doen via het chemisch lab om deze met data van de NIR te kunnen vergelijken en daarmee de betrouwbaarheid van NIR te evalueren.

2. Reproduceerbaarheid Teelt en Analyse

Omdat niet elke compost batch dezelfde is en niet elke teelt identiek verloopt was de eerste vraag "Hoe reproduceerbaar zijn de resultaten in een experimentele teelt bij Unifarm". Aangezien we niet verwachten dat eerder gevonden sluitende balansen in een volgende teelt anders zijn hebben we ons in dit vervolg project geconcentreerd op de afbraak van het substraat. In de tweede fase van het project zijn vier behandelingen uitgevoerd waarbij de vierde behandeling vergelijkbaar is met de behandeling uitgevoerd in de eerste fase van het project. Data van deze behandelingen kunnen dus gebruikt worden om de reproduceerbaarheid te bepalen.
Als we naar de afbraak kijken van de verschillende fracties in de hele laag compost in twee vluchten dan zien we dat de getallen in het tweede project erg vergelijkbaar zijn met die van het eerste project (tabel 1). Op basis van wegingen van lagen en drooggewicht bepaling kun je concluderen dat in beide teelten na twee vluchten nagenoeg evenveel droge stof (16, respectievelijk 17%) als organische stof (beide 25%) is afgebroken ook al hebben de composten niet dezelfde samenstelling bij het vullen. Ook de verschillende fracties vertonen vergelijkbare hoeveelheden afbraak. De afbraak in droge stof (DS) kan bijna volledig verklaard worden door de afname in cellulose, hemicellulose en lignine. Niet verwonderlijk omdat uit suikers de belangrijkste bouwstenen van de champignon worden gemaakt. De verschillen in afbraak in hemicellulose van boven naar beneden in de compost geven in beide teelten dezelfde trend: aan het eind van de teelt is dit vrijwel uitgeput maar in de onderste laag niet. Bij cellulose is de afbraak in de verschillende lagen van beide teelten wel wat verschillend. Een goede reden hiervoor is niet te geven. Champignons bestaan slechts voor

Afbraak na 2 vluchten in fase I en II van het Input-output project

Kg/m²	Input-output fase I													
Vullen	ADF	Lignine	As	NDF	Cell.	Hemic.	N-totaal	Vocht	pH	OS	DS	versgewicht		
	11.55	5.01	9.54	13.51	6.54	1.96	0.74	62.53	5.95	21.38	30.91	82.50		
15 liter; dichte bodem; na 2 vluchten													Afbraak (%)	
	ADF	ADL	As	NDF	Cell.	Hemic.	N-totaal	Vocht	pH	OS	DS	/ersgewich	OS	DS
Boven	7.45	3.69	9.55	7.40	3.75	-0.05	0.74	56.47	4.55	15.36	24.91	57.22	28%	19%
Midden	7.67	3.50	9.88	7.96	4.17	0.28	0.74	58.28	4.75	16.09	25.97	62.25	25%	16%
Onder	8.43	3.88	10.47	9.32	4.55	0.89	0.74	66.82	5.12	16.36	26.83	80.85	23%	13%
x̄	7.85	3.69	9.97	8.23	4.16	0.38	0.74	60.52	4.81	15.94	25.90	66.77	25%	16%
Afbraak	32.0%	26.3%		39.1%	36.4%	80.8%	0.0%			25.5%	16.2%	19.1%		

Kg/m²	Input-output fase II													
Vullen	ADF	Lignine	As	NDF	Cell.	Hemic.	N-totaal	Vocht	pH	OS	DS	versgewicht		
	9.97	3.95	8.77	12.03	6.01	2.06	0.68	66.52	6.21	18.85	27.62	82.50		
15 liter; dichte bodem; na 2 vluchten													Afbraak (%)	
	ADF	ADL	As	NDF	Cell.	Hemic.	N-totaal	Vocht	pH	OS	DS	/ersgewich	OS(%)	DS(%)
Boven	6.88	3.32	8.39	6.82	3.57	-0.06	0.63	60.25	4.97	13.65	22.03	55.42	28%	20%
Midden	6.83	3.41	8.65	6.85	3.41	0.03	0.65	61.58	5.02	13.69	22.34	58.13	27%	19%
Onder	7.34	4.02	9.43	8.16	3.32	0.81	0.69	70.33	5.66	15.25	24.68	83.19	19%	11%
x̄	7.02	3.58	8.82	7.28	3.43	0.26	0.65	64.05	5.22	14.20	23.02	65.58	25%	17%
Afbraak	29.6%	9.3%		39.5%	42.9%	87.4%	3.5%			24.7%	16.7%	20.5%		

Tabel 1. In de tabel zijn de verschillende fracties weergegeven in kg/m^2. In het bovenste kader zijn de getallen weergegeven van de eerste teelt (input-output fase I) en in het tweede kader de behandeling van de tweede proef die identiek is met de teelt uitgevoerd in de eerste proef. In elk kader is zijn bovenaan de getallen weergegeven van de doorgroeide compost bij vullen. Hieraan is te zien dat de doorgroeide compost van beide teelten kleine verschillen hebben in samenstelling bij aanvang van de teelt. Daaronder zijn de getallen weergegeven van de drie lagen compost en het gemiddelde over deze drie lagen. De getallen laten zien dat in beide teelten vrijwel dezelfde afbraak plaats vind.

een klein gedeelte uit N (50 gram/kg droog) en het gewicht van de hoeveelheid N die champignons/m^2 uit de compost kunnen halen is maximaal 0.133 kg, een fractie van de afbraak van ca. 4-5 kg droge stof/m^2. Toch is deze hoeveelheid een substantieel deel van de stikstof die in de compost zit en het is vreemd dat dit niet in de afname van N-totaal is terug te vinden bij de NIR analyse. De analyse door het chemisch lab laat wel een duidelijker beeld zien (zie paragraaf over vergelijk NIR en chemisch lab). De conclusie is dat beide teelten goed vergelijkbaar zijn en dat de grote lijnen in beide teelten terugkomen.

3. Invloed vocht op afbraak in onderste laag compost

In de tweede fase zijn in de experimentele teelt 4 behandelingen uitgevoerd met het doel om het vochtgehalte van met name de onderste laag compost te beïnvloeden (tabel 2) en daarmee te testen of dit invloed heeft op de afbraak van de compost in de onderste laag. In behandeling 1 is niet afgedekt, geen water gegeven en een kist met dichte bodem gebruikt. Op deze manier is te achterhalen of water in de compost langzaam uitzakt en bijdraagt aan de ophoping van water in de onderste laag. In behandeling 2 is weinig water gegeven en goed gespreid met de bedoeling om zo weinig mogelijk water naar de onderste laag te laten zakken. De kist heeft een dichte bodem. Behandeling 3 heeft een normale watergift en een open bodem zodat overtollig water kan weglopen en er hier ook wat verdamping kan plaatsvinden via de onderkant. Behandeling 4 is vergelijkbaar met de uitvoering van de eerste proef: dicht boden en normale hoeveelheid watergift.

		Bodem	Watergift
Behandeling 1	Niet afdekken	Dicht	Geen
Behandeling 2	Afdekken	Dicht	9 liter
Behandeling 3	Afdekken	Spleet	15 liter
Behandeling 4	Afdekken	Dicht	15 liter

Tabel 2. Uitgevoerde behandelingen.

De verschillende behandelingen hebben inderdaad het vochtgehalte van de onderste laag beïnvloed (figuur 1). Bij het niet afdekken loopt het vochtgehalte in de onderste laag een beetje op. Minder watergift (7 liter/m^2) geeft ook minder vochtophoping in de onderste laag dan 15 liter bij een dichte bodem. Het grootste effect is de kist met spleetbodem. Hierin wijkt het vochtgehalte van de onderste laag het minst af van de midden en bovenste laag. Bij de behandeling met normale watergift en dichte bodem is de onderste laag het natst. Met deze behandelingen is dus succesvol het vochtgehalte van de onderste laag beïnvloed (figuur 1). Duidelijk is ook te zien dat met het niet afdekken (en dus geen paddenstoelproductie) het vochtgehalte van knopvorming tot einde teelt vrijwel gelijk blijft. Alleen de bovenste helft wordt wat droger door verdamping. Paddenstoelvorming vindt niet plaats als er niet wordt afgedekt, ook al wordt de temperatuur en het CO_2 gehalte verlaagd. Evenals in het eerste deel van het project is nu te zien dat de bovenste laag compost het meest bijdraagt aan de waterbehoefte van uitgroeiende champignons.

De vochtgehaltes hebben ook een invloed gehad op de afbraak van droge stof (tabel 3). In de minst natte compost is de afbraak het grootst en de natste compost het laagst. Zoals verwacht zijn de verschillen het grootst in de onderste laag waar de vochtverschillen het grootst zijn. Het grootste verschil in afbraak over alle lagen is die tussen behandeling 4 (de natste) en behandeling 3 (de droogste), 16.7 en 19.9% afbraak droge stof/m^2 respectievelijk. Dat is in absolute hoeveelheid 0.89 kg/m^2 (op de aanwezige 25 kg/m^2). Absoluut genomen is dat verschil niet erg groot (maximaal 3.2 %) maar als percentage dat wordt afgebroken (maximaal 5.5 kg/m^2) toch aanzienlijk (nl.16% van wat er wordt afgebroken). Volgens de koolstof cyclus berekeningen die we in de vorige fase van het project hebben gedaan weten we hoeveel C er in droge stof zit (50%) en wat de verhouding is in C die naar CO_2 en champignons gaat (ca. fifty-fifty). Omgerekend naar verse champignons zou je dan een opbrengst verschil van 6 kg/m^2 moeten krijgen bij deze verschillen in afbraak. Dat zien we niet terug in de totale opbrengsten (tabel 4). Het kan zijn dat het droge stof gehalte van de champignons tussen de behandelingen verschillen waardoor dit voor een deel verklaard kan worden maar dit blijft een beetje een raadsel. In de vervolgproef zullen we ook het droge stofgehalte van champignons gaan

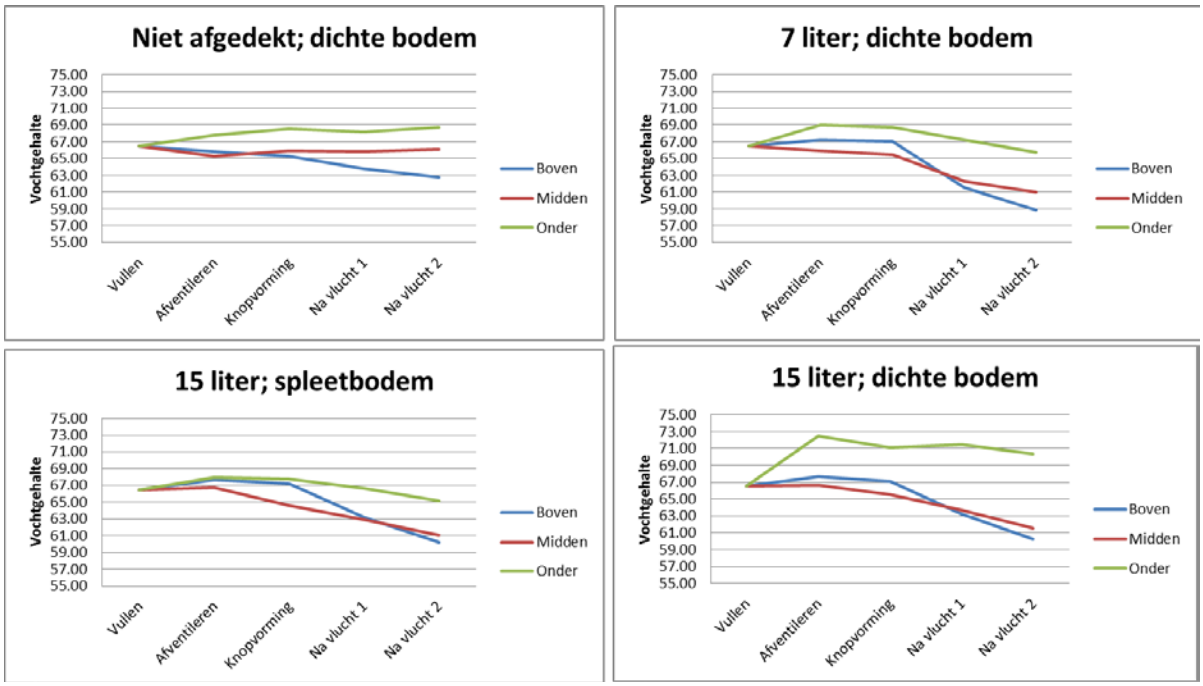
	Boven		Midden		Onder		Totaal	
	kg/m2	%	kg/m2	%	kg/m2	%	kg/m2	%
Behand. 1 Niet afdekken	0.27	2.94%	0.54	5.92%	0.31	3.41%	1.13	4.1%
Behand. 2 7 liter; dichte bodem	1.86	20.16%	1.79	19.43%	1.39	15.05%	5.03	18.2%
Behand. 3 15 liter; spleetbodem	1.92	20.82%	1.75	18.98%	1.83	19.91%	5.50	19.9%
Behand. 4 15 liter; dichte bodem	1.86	20.24%	1.76	19.14%	0.98	10.64%	4.60	16.7%

Tabel 3. Afbraak droge stof/m2 bij de verschillende behandelingen op drie verschillende diepten in de compost.

	Vlucht 1			Vlucht 2			Vl1 + Vl. 2
Beh.	fijn	middel	Totaal	fijn	middel	Totaal	
2	2.57	11.43	14.01	14.18	3.15	17.34	31.34
3	2.32	12.34	14.66	13.46	2.51	15.97	30.63
4	2.10	11.65	13.75	14.69	3.06	17.75	31.49

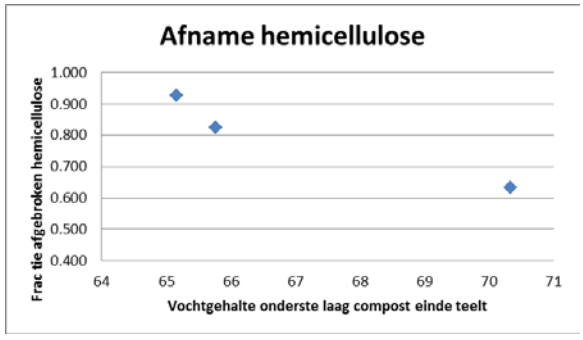
Tabel 4. Opbrengst van de behandelingen 2, 3 en 4 (kg/m2) in twee vluchten. De verschillende manieren van watergeven en type bodem hebben geen significante verschillen gegeven in opbrengst van verse champignons.

bepalen. Bij de niet afgedekte kisten zijn uiteraard geen champignons geproduceerd. De hoeveelheid droge stof die is afgebroken is dan ook beduidend minder (ruim 4%).



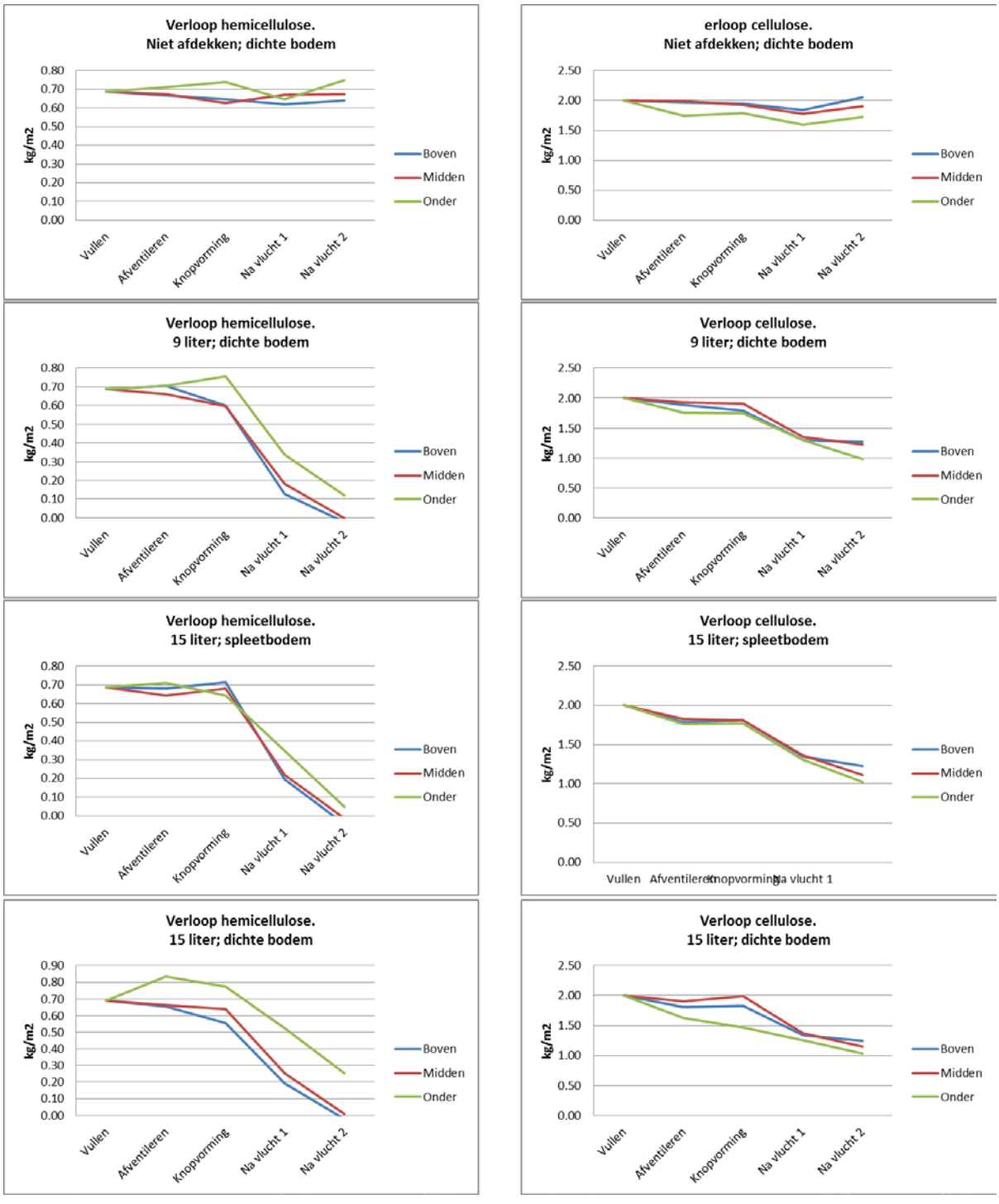
Figuur 1. Het verloop van het vochtgehalte in de drie lagen compost bij de verschillende behandelingen.

Om te zien of het verschil in vochtgehalte invloed heeft op de afbraak zijn de afnamen van cellulose en hemicellulose in de verschillende lagen bij de verschillende behandelingen bekeken. Aangezien de afbraak van cellulose en hemicellulose vrijwel helemaal de afbraak van droge stof bepaalt geven deze twee componenten het best de invloed van vocht op afbraak weer. Evenals in de eerste proef van dit project, is nu ook weer te zien dat de afbraak van hemicellulose en cellulose vooral gebeurt bij de uitgroei van vlucht 1 en 2 (figuur 2). Evenals in het eerste experiment (input-output fase I) is nu ook te zien dat bij hemicellulose de afbraak in de onderste laag achterloopt met die van andere lagen. De hemicelluloseafbraak loopt het sterkst achter bij behandeling 4. Deze behandeling is identiek aan die van de vorige proef waarin 15 liter water is gegeven en een kist met dichte bodem is gebruikt. Deze laag compost is ook het natst (figuur 1). Dit geeft aan dat het vochtgehalte van de onderste laag inderdaad invloed heeft op de afbraak van organische stof en dat dit vooral een effect heeft op afbraak van hemicellulose (figuur 3). De afbraak van cellulose loopt redelijk gelijk in de verschillende lagen. Cellulose in de onderste laag wijkt lang niet zo sterk af als hemicellulose en lijkt soms zelfs iets meer afgebroken te zijn in de onderste laag. Op dit moment worden er nog nat-chemische analysen gedaan aan enkele fracties om meer inzicht te krijgen wat de NIR bepalingen weergeven. Verder is te zien dat bij niet afdekken (geen paddenstoelen) er ook nauwelijks hemicellulose en cellulose wordt afgebroken.



Figuur 3. Correlatie tussen vochtgehalte onderste laag compost aan het einde van de teelt en de afbraak van hemicellulose in deze laag.

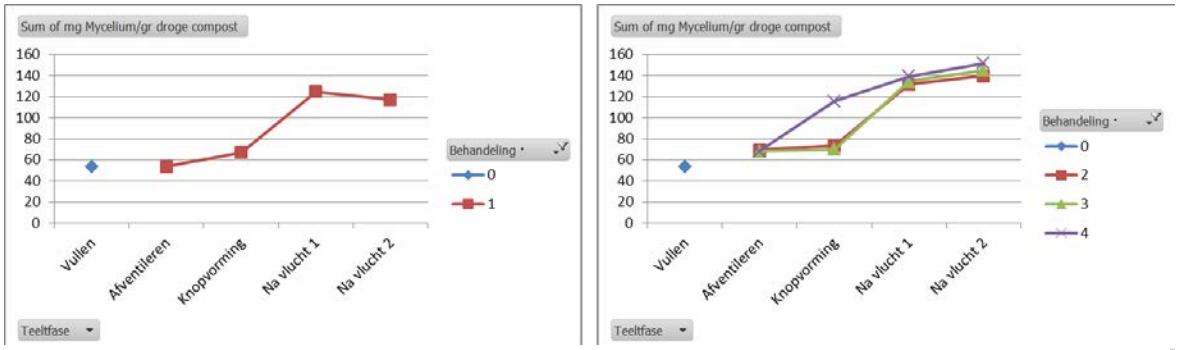
Dat onderstreept dat cellulose en hemicellulose de bron is voor de productie van nieuwe biomassa en CO_2.



Figuur 2. Afname van cellulose en hemicellulose gedurende de teelt in drie lagen in de compost (gecorrigeerd voor as-verloop). Vooral de onderste laag bij behandeling 4 is het natst van alle behandelingen (15 liter; dichte bodem; onderste twee figuren). Hier is te zien dat hemicellulose minder wordt afgebroken dan in de andere behandelingen. De effecten op afbraak van cellulose zijn nauwelijks te zien.

4 Mycelium

De hoeveelheid mycelium die gevormd wordt in de compost is van cruciaal belang voor de productie van champignons. Daar waar geen mycelium zit wordt de compost niet of nauwelijks afgebroken. Het mycelium moet namelijk enzymen uitscheiden die in het substraat moeten diffunderen, en de afbraak producten moeten weer naar het mycelium terug diffunderen. Dat proces werkt steeds langzamer, des te verder weg van het mycelium dit gebeurt. Een goed inzicht hoeveel mycelium nodig is en of en hoe mycelium groeit tijdens de productie is van belang om het systeem beter te begrijpen. De hoeveelheid mycelium kan geschat worden door het ergosterol gehalte van de compost te bepalen. Ergosterol vervult dezelfde functie als cholesterol bij mens en dier en is uniek voor schimmels. In doorgroeide compost is de champignon vrijwel de enige schimmel (er zit bij het vullen nog een beetje *Scytalidium* in) en aan het eind van de teelt zit er alleen maar champignonmycelium in. In de vorige proef hebben we deze ergosterol bepaling voor het eerst uitgevoerd en hiermee een redelijk inzicht gekregen van de hoeveelheid mycelium. De bepaling gaf toen aan dat voor de productie van twee vluchten ca. de helft van de biomassa van de champignons nodig is aan biomassa mycelium in de compost en dat de hoeveelheid mycelium tot de knopvorming toeneemt en daarna redelijk constant blijft. De methode is erg gevoelig voor storingen en in deze proef hebben we de methode verder geoptimaliseerd. Alle bepalingen zijn in duplo gedaan en de waarden liggen nu erg dicht bij elkaar wat erop wijst dat de methode betrouwbaarder is. Het gebruik van een interne standaard (dehydro-ergosterol) en het corrigeren voor de recovery hiervan tijdens de extractie maakt de methode robust. In tegenstelling tot de vorige proef is er nu een duidelijke toename van mycelium te zien tijdens de uitgroei van champignons (figuur 4). De meting bij behandeling 4 (natste compost) op het tijdstip van knopvorming springt eruit. Deze ligt hoger dan bij de andere behandelingen en dat is onverwacht. Een aantal metingen zullen worden overgedaan om deze afwijking te checken. Opmerkelijk is ook dat het mycelium in de niet-afgedekte kisten hetzelfde patroon vertoont met slechts een beetje minder gevormd mycelium (figuur 4, links). Dit ondanks het feit dat er geen champignons gevormd worden. Het lijkt of het mycelium in de compost reageert op het klimaat (ondanks de afwezigheid van paddenstoelen) en dat hadden we niet verwacht. Een goede verklaring hebben we daar nog niet voor.



Figuur 4. Mycelium in de compost. De hoeveelheid mycelium is geschat aan de hand van de hoeveelheid ergosterol in de compost. Monsters van de boven en middenlaag zijn gepoold en de onderste laag is apart gemeten. Deze waarden lagen zo dicht bij elkaar dat hier alleen de gemiddelden over alle lagen is weergegeven (omgerekend als mg drooog mycelium/gram droge compost). Links het mycelium in de niet afgedekte kisten en rechts de behandelingen 2 t/m 4 waarin de vochtgehalten van de composten varieerden. Anders dan de vorige keer is nu duidelijk een toename van mycelium te zien na afventileren tot na vlucht 2. De hoeveelheid mycelium die nu gemeten is, is aan het eind van de teelt dan ook meer dan 2 keer zoveel als gemeten in de vorige proef.

4 Data van teeltbedrijven

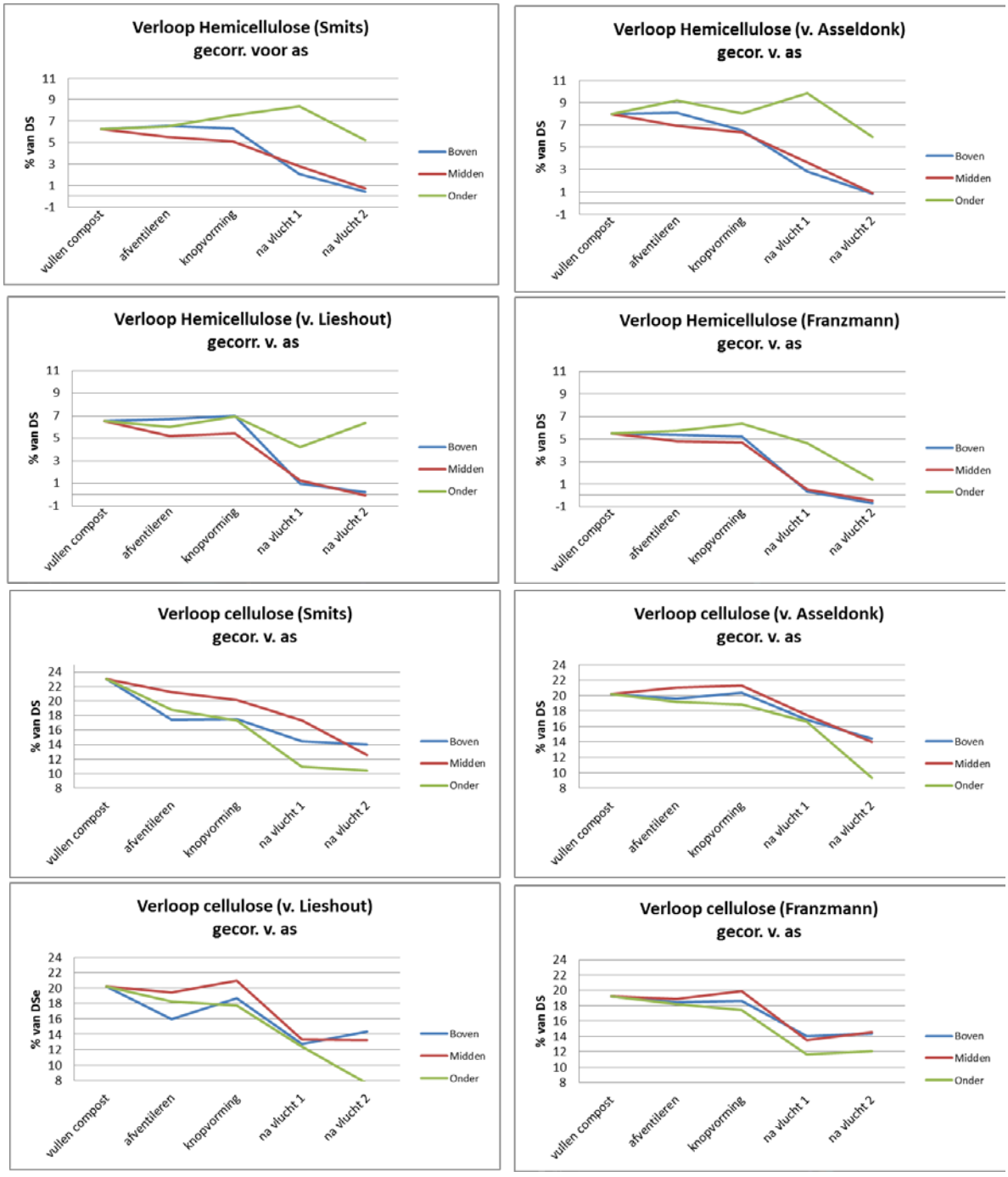
Om een beeld te krijgen hoe de getallen verkregen in de experimentele teelt zich verhouden tot die van praktijkbedrijven zijn monsters genomen van 4 bedrijven (2 pluk- en 2 snijbedrijven). Er zijn monsters genomen bij het vullen, afventileren, knopvorming, na de eerste en na de tweede vlucht. Hierbij is met een mal op elk tijdstip op twee plekken in de compost bemonsterd op drie diepten. Omdat bij de praktijk bedrijven geen netten tussen de bovenste, middelste en onderste laag hebben gezeten is niet het gewichtsverloop van de verschillende lagen bepaald. De meetwaarden geven dus de percentages weer van componenten en niet de absolute waarden. Doordat monsters in de hele teeltcyclus zijn onderzocht kan de trend bij de verschillende teeltbedrijven onderling goed worden vergeleken en kan een vergelijk worden gemaakt met de experimentele teelt.

4.1 Vochtgehalte in de compost

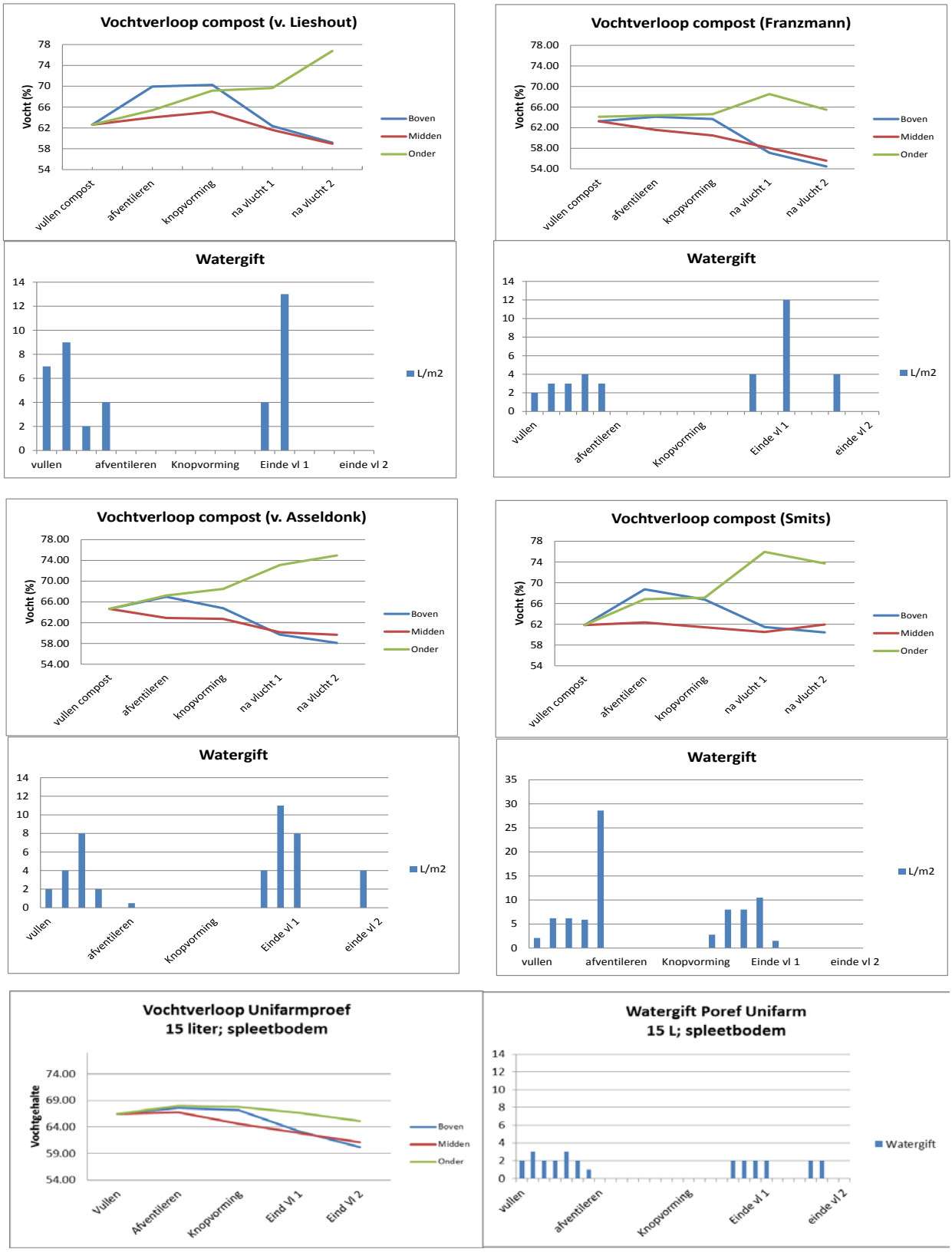
De behandeling in de experimentele teelt van Unifarm met spleetbodemkisten (behandeling 3) is enigszins te vergelijken met de teelt van de 4 bedrijven die netten onder de compost hebben liggen. Het verloop van het vochtgehalte van de compost bij deze telers is duidelijk anders dan dat van de experimentele teelt van Unifarm (figuur 5). Bij 3 telers loopt zowel het vochtgehalte van de bovenste als de onderste laag compost op bij het op vochtsproeien van de dekaarde. Opvallend is ook dat het vochtgehalte aan het eind van de teelt sterk oploopt. Bij degene waarbij het vochtgehalte het sterkst oploopt voelde de compost inderdaad erg nat aan maar zag er “gezond” uit en stonk niet. Teler 4 (Franzmann) heeft duidelijk een ander verloop van het vochtgehalte in de compost. Het verloop is vrij vlak tot de knopvorming en daarna loopt het vochtgehalte in de onderste laag wat op. Franzmann geeft in het begin wat minder water met meer spreiding en dat zou de oorzaak kunnen zijn. Bij alle 4 telers is duidelijk de afname van het vochtgehalte in de bovenste laag compost te zien bij de uitgroei van vlucht 1. Dat komt overeen met de waarnemingen in de Unifarm teelten en laat zien dat de champignons, naast de dekaarde, vooral het water in de bovenste laag compost gebruiken voor de uitgroei.

4.2 Afbraak van de compost

Bij de 4 teeltbedrijven is de afbraak van de verschillende fracties weergegeven als percentage van de droge stof omdat er geen netten tussen de drie compostlagen hebben gelegen. Een direct vergelijk met de Unifarmteelten is dus niet te maken maar de trends kunnen wel zichtbaar gemaakt worden. Bij alle telers valt op dat het hemicellulose gehalte in de onderste laag hoger is dan in de bovenste en middelste laag (figuur 6). Deze koolstoffractie draagt dus weinig bij aan de koolstofvoeding. Bij Fransmann is het percentage hemicellulose het laagst en lijkt dus de afbraak het hoogst. De onderste compost laag bij Franzmann is het droogst. Dat komt overeen met de waarnemingen bij de behandelingen in de Unifarmteelt die laten zien dat een lager vochtpercentage een beter afbraak van hemicellulose geeft. Voor cellulose is het beeld anders. De verschillen in percentages tussen de drie lagen is kleiner. Hier lijkt het percentage van cellulose in de onderste (natste) laag zelfs kleiner te zijn dan in de middelste en bovenste laag. Ook dat komt overeen met de experimentele teelten bij Unifarm. Omdat er meer cellulose dan hemicellulose in de compost zit kunnen de verschillen in absolute hoeveelheden wel in de orde van grote liggen die vergelijkbaar is met die van hemicellulose.



Figuur 5. Verloop vochtgehalte van de compost bij 4 telers. Bij elke teler is in de onderste diagram de tijdstippen en hoeveelheden watergift weergegeven



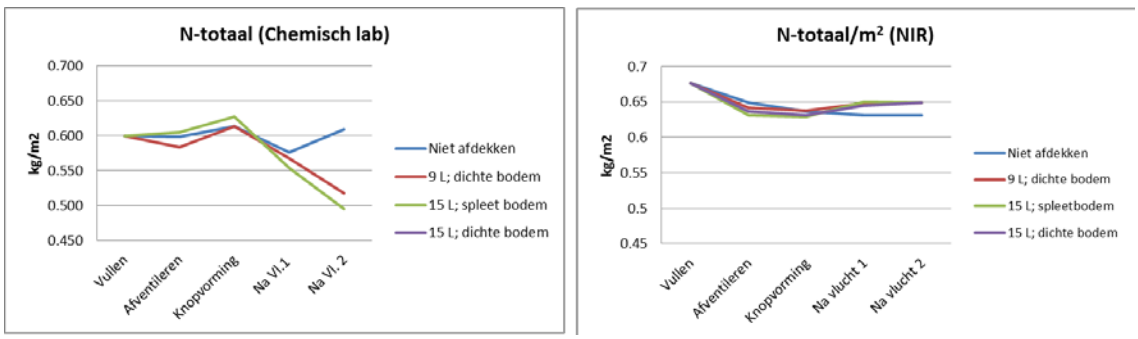
Figuur 6. Verloop van hemicellulose en cellulose bij 4 teeltbedrijven in drie lagen compost. De hoeveelheden zijn uitgedrukt als percentages van de droge stof.

5 Vergelijk NIR en chemisch lab

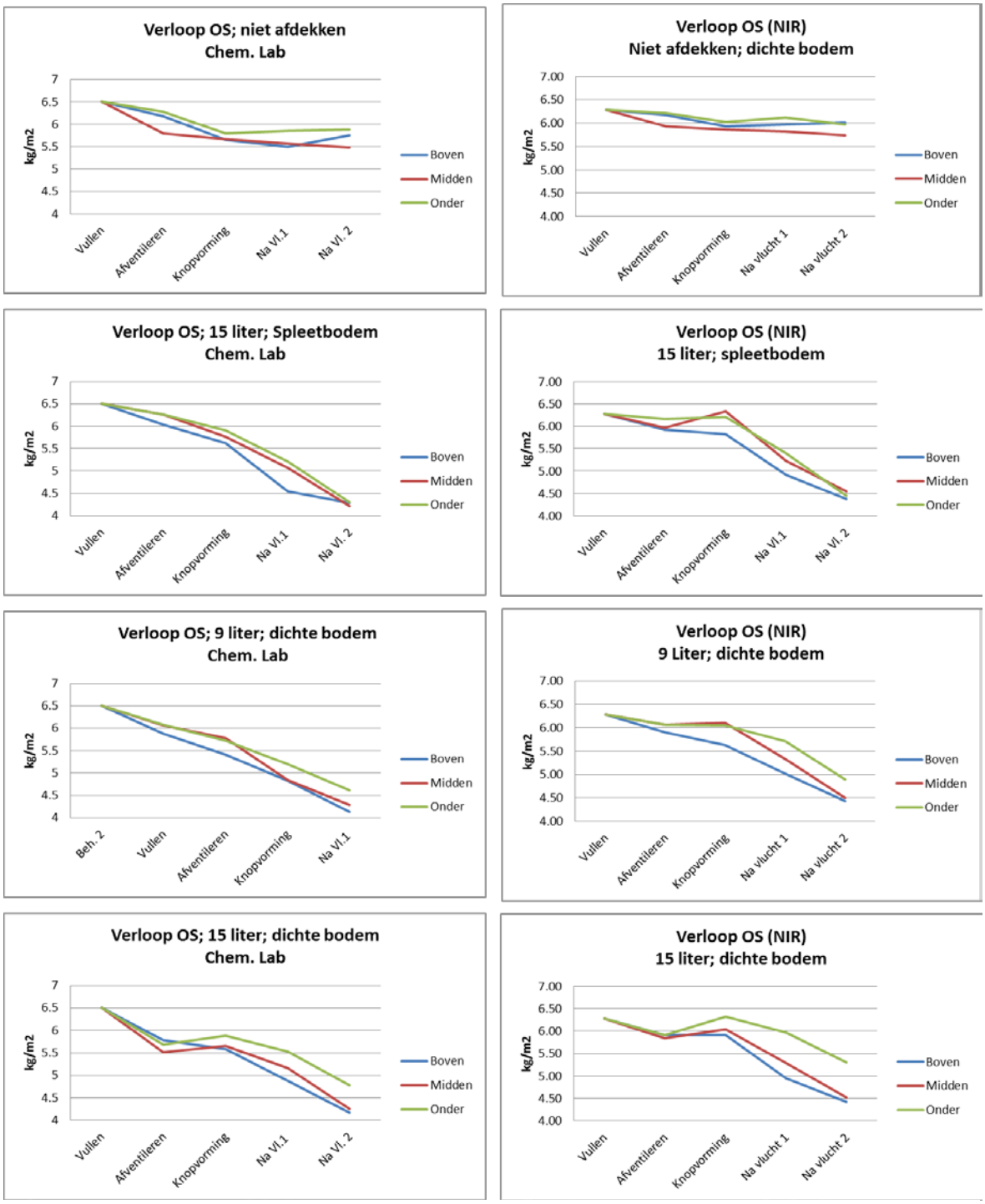
	Chem. Lab	NIR
Beh.	Afbraak OS (kg/m^2)	
1	2.38	1.13
2	6.46	5.03
3	6.69	5.50
4	6.29	4.60

Tabel 5. Afbraak organische stof van vullen tot na vlucht 1 (kg/m2). Bij de bepaling door het chemisch lab wordt er wat meer organische stof afgebroken en zijn de verschillen tussen de behandelingen kleiner.

Een van de opmerkingen van de begeleidingscommissie betrof de betrouwbaarheid van de NIR metingen. We hebben daarom een aantal bepaling die via de NIR zijn gedaan vergeleken met de analysen van het chemisch lab (Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem; www.cbib.wur.nl). Hierbij is het verloop van de totale hoeveelheid stikstof vergeleken en de afbraak van organische stof. Van een aantal monsters zal ook nog de NDF, ADF en ADL bepaling gedaan worden door de afdeling Animal Nutrition. Deze data zullen pas later klaar zijn. Bij de bepaling van het chemisch lab is duidelijk een verloop te zien van het totale N gehalte in de compost (figuur 7, links). Voor de niet afgedekte behandeling verdwijnt er nauwelijks N terwijl bij de andere behandelingen er wel duidelijk een afname in N te zien is. De afname varieert van 70 tot 104 gram N/m^2. Dit komt in de buurt van de maximale hoeveelheid van 130 gram/m^2 die de champignon uit de compost moet halen voor de gemeten productie.
Voor de bepaling van het organische stof gehalte zijn beide methode ook vergeleken (figuur 8). Beide methode geven een vergelijkbaar verloop te zien verloop te zien. De hoeveelheden zijn niet helemaal hetzelfde en de hoeveelheid die wordt afgebroken vanaf vullen tot na vlucht 2 verschilt ook enigszins tussen de twee methoden. Het grootste verschil in afbraak van organische stof tussen de behandelingen bij de NIR methode is 0.89 kg/m^2 terwijl dit bij de methode van het chemisch lab 0.40 kg/m^2 is. Als de zelfde berekening wordt gemaakt als in paragraaf 3 zou het verschil in opbrengst tussen behandeling 3 en 4 ca. 2.7 kg moeten zijn. Ook dat is niet teruggevonden in de opbrengsten maar dit verschil is al minder groot.



Figuur 7. Vergelijk in totaal N verloop in de 4 behandelingen bepaald met de NIR methode en de bepaling door het chemisch lab. Bij de bepaling door het chemisch lab is wel een afname van het totale stikstofgehalte te zien terwijl dat nauwelijks te zien is bij de NIR methode.



Figuur 8. Verloop van organische stof bepaald via de NIR methode en door het chemisch lab. Beide methoden laten vergelijkbare afbraakpatronen zien. Gemiddeld over alle lagen laten wel een absoluut verschil zien tussen beide metingen. Bij de bepaling gebruikt door het chemisch lab wordt iets meer organisch materiaal afgebroken en zijn de verschillen tussen de behandelingen minder groot.

6 Discussie

In deze tweede fase van het project is de betrouwbaarheid van de trend die in de eerste proef is waargenomen onderbouwd. *Overall* komen de data van behandeling 4 die hetzelfde is als de eerste proef goed overeen. In twee vluchten wordt ca. 17% van de droge stof afgebroken (25% van de organische stof) en de onderste laag reageert anders dan de middelste en bovenste laag.
Door de verschillende behandelingen toe te passen hebben we het vochtgehalte van de onderste laag kunnen beïnvloeden en dat heeft de verwachte invloed gehad op de afbraak van hemicellulose, overeenkomstig de verwachtingen uit de eerste proef. Hoe droger de onderste laag des te beter wordt hemicellulose afgebroken. Hemicellulose in de middelste en bovenste laag is vrijwel verdwenen na twee vluchten. Er zullen nog enkele nat-chemische bepalingen gedaan worden om beter inzicht te krijgen wat er wordt afgebroken. Hemicellulose lijkt in ieder geval een beperkende factor te zijn aan het eind van de teelt en misschien al wel bij de uitgroei van de tweede vlucht. Waarom cellulose slechts voor 40% wordt afgebroken is onduidelijk. Cellulose komt in de kristallijne en amorfe vorm voor. De laatste vorm is makkelijker af te breken en het is mogelijk dat de champignon meer moeite heeft met de kristallijne vorm. Van wit-rot schimmels is bekend dat deze reactieve moleculen vormen via lignine peroxidase (LiP) of Mangaan peroxidase (MnP). Het wordt steeds meer duidelijk dat deze reactieve moleculen niet alleen bij de afbraak van lignine maar ook bij de afbraak van kristallijn cellulose wordt gebruikt. De champignon heeft geen LiP maar wel 1 MnP gen. De meeste wit-rotters hebben veel MnP genen. De champignon gebruikt vooral laccase om lignine af te breken en tot nu toe is niet aangetoond dat laccase ook reactieve moleculen kan produceren die cellulose kunnen afbreken. Dit kan erop wijzen dat de champignon moeite heeft met kristallijn cellulose. Verder onderzoek zal dat moeten uitwijzen. Andere, niet gemeten, voedingscomponenten kunnen natuurlijk ook een beperkende factor zijn voor de onvolledige afbraak van de compost. In het CiC project hebben we al aanwijzingen gekregen dat extra toevoeging van bijvoedmiddelen ook een betere afbraak van de compost tot gevolg heeft. De samenstelling van bijvoedmiddel is complex en de algemene opvatting is dat het bijvoedmiddel vooral de hoeveelheid beschikbare stikstof verhoogt. Het is niet uit te sluiten dat andere componenten in het bijvoedmiddel ook een beperking opheffen waardoor er een betere afbraak plaatsvindt.

De afbraak van de droge stof in de behandelingen 2 t/m 4 kan vrijwel volledig verklaard worden door de afbraak in (hemi)cellulose en lignine. De verschillen in afbraak, met name de onderste laag, tussen deze behandelingen vertoont een correlatie van het vochtgehalte van de compost. Dat onderstreept het eerdere vermoeden dat een te natte compost de afbraak belemmert. De verschillen in afbraak van droge stof zou omgerekend in verse champignon te zien moeten zijn maar er zijn geen significante verschillen in productie. Dat betekent dat we het systeem nog niet goed begrijpen.
De analyse van monsters genomen bij 4 teeltbedrijven laten een wat ander vochtverloop van de compost gedurende de teelt zien dan de experimentele teelten van Unifarm. Een vergelijk mat de manier van watergeven kan dit grotendeels verklaren. Bij 3 van de 4 telers wordt voor de pluk/snij van vlucht 1 en 2 flink water gegeven. Dat verklaart het stijgend vochtgehalte van de onderste laag naar het eind van de teelt toe. De afname van hemicellulose en cellulose tijdens de uitgroei van de vluchten komt overeen met de Unifarm teelten. Ook bij de teeltbedrijven is een correlatie te zien tussen het vochtgehalte van de onderste laag en de hoeveelheid hemicellulose die wordt afgebroken.

De bepalingen van het chemisch lab geven niet altijd hetzelfde weer als de NIR methode. De NIR methode is snel en erg reproduceerbaar. Deze methodiek kan daarom goed gebruikt worden om veranderingen in trend zichtbaar te maken. Voor een goed inzicht in absolute hoeveelheden is het goed om ook bepalingen door het chemisch lab te laten doen voor totale hoeveelheid N en het organische stofgehalte. Of dit ook geldt voor NDF, ADF en ADL zal nog moeten blijken.

Appendix Zuurstof en koolzuurgas metingen

4.1 Achtergrond

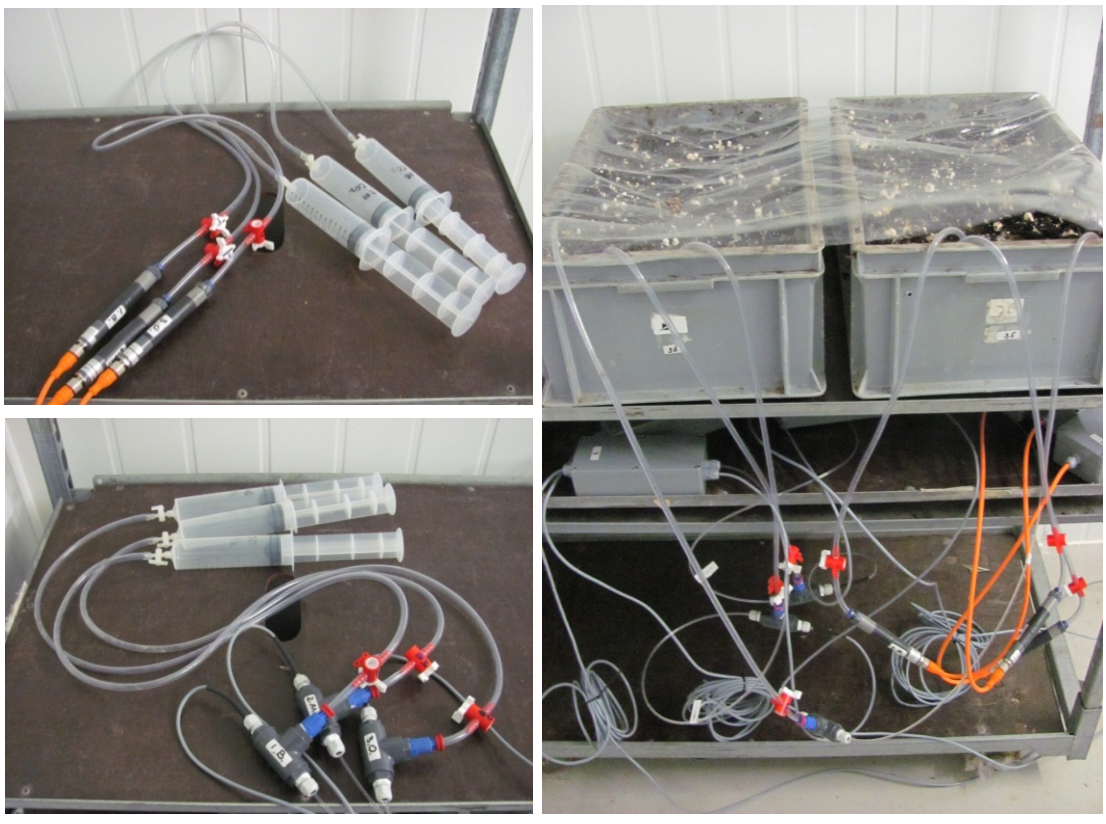
De afbraak van compost door de champignon is een natte verbranding waarbij veel zuurstof verbruikt wordt en waarbij naar rato van de gebruikte zuurstof koolzuurgas en energie vrij komen volgens reactie 1.

$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$ geeft $6\ CO_2 + 6\ H_2O$ + energie (1)

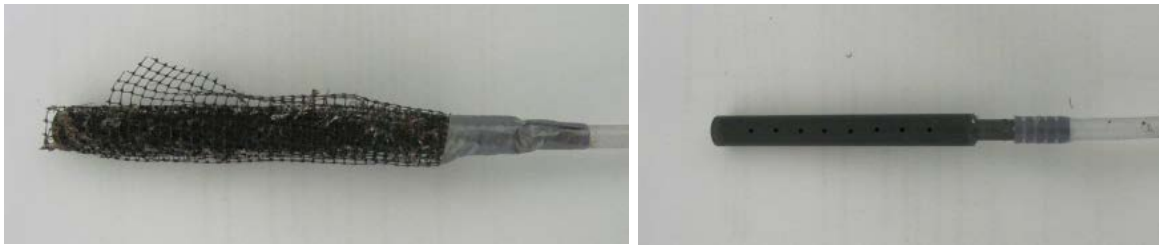
De compostdichtheid, de laagdikte en het watergehalte bepalen het aantal en de lengte van met lucht gevulde poriën. De met lucht gevulde poriën op hun beurt bepalen hoeveel zuurstof aangevoerd kan worden en hoeveel koolzuurgas en energie afgevoerd kunnen worden. Bij een hoger watergehalte wordt daarom verwacht dat het transport vertraagd is, en misschien zelfs beperkend voor de vertering is. Daarom is geprobeerd het zuurstofverloop, het koolzuurgasverloop en de temperatuur van enkele plaatsen in de bakken te meten.

4.2 Opstelling

De gebruikte apparatuur betreft een Ocean Optics / Avantes fibre optic zuurstofmeter en een Testo 535 CO_2-meter. Beide meters zijn verbonden met drie sensoren voor zuurstof respectievelijk CO_2. De sensoren staan met de compost in verbinding door een doorzichtige slang van 5 mm doorsnede die uitmondt in een PVC buisje dat aan de onderzijde 8 gaatjes heeft. Door deze gaatjes staat de lucht in de compost in verbinding met de sensoren voor zuurstof, koolzuurgas en temperatuur. De zuurstofsensor bevat ook een temperatuur sensor en deze is gebruikt om een idee van de composttemperatuur te krijgen.



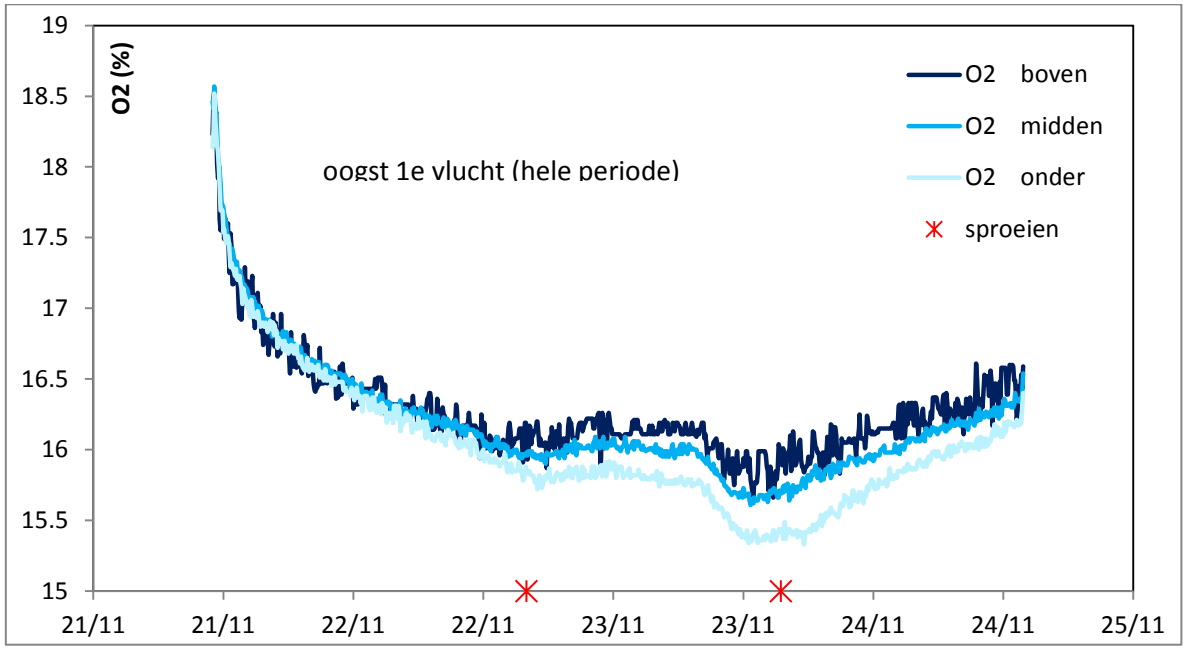
Figuur 1-2: Boven de meetopstelling van de CO_2 sensoren. Onder de meetopstelling van de O_2 sensoren.
Figuur 3: De proefopstelling met de sensoren via slangen aangesloten op de buisjes in de drie compostlagen.



Figuur 4-5: Links een pvc buisje met gaas omwikkeld zoals deze in de compostlagen aangebracht waren en rechts hetzelfde buisje zonder gaas.

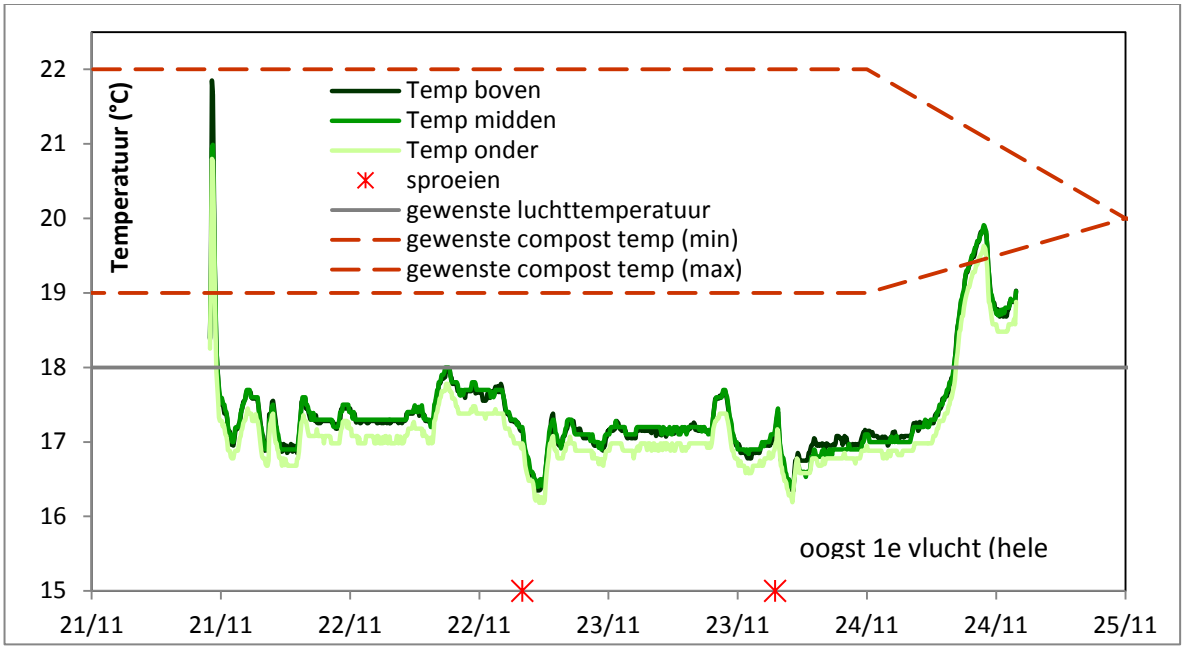
4.3 Metingen

In Bijlage 5 staan drie grafieken van zuurstofgehalte, koolzuurgasgehalte en temperatuur over de gehele periode. In deze grafieken is met kruisen aangegeven wanneer er water is toegevoegd aan de compost. De metingen zijn niet de gehele periode in dezelfde kist gedaan. De sensoren zijn in verschillende kisten gestoken om zo verschillen tussen de behandelingen te vinden. Tijdens de knopvorming werd geen verbruik van zuurstof gemeten. Pas tijdens de oogst voor de eerste vlucht daalde het zuurstofgehalte tot 23-11 en werd er bovenin meer zuurstof gemeten dan onderin (Figuur 6). Het bereikte niveau van 15.5 % was echter veel lager dan verwacht uit de experimenten in 2010.



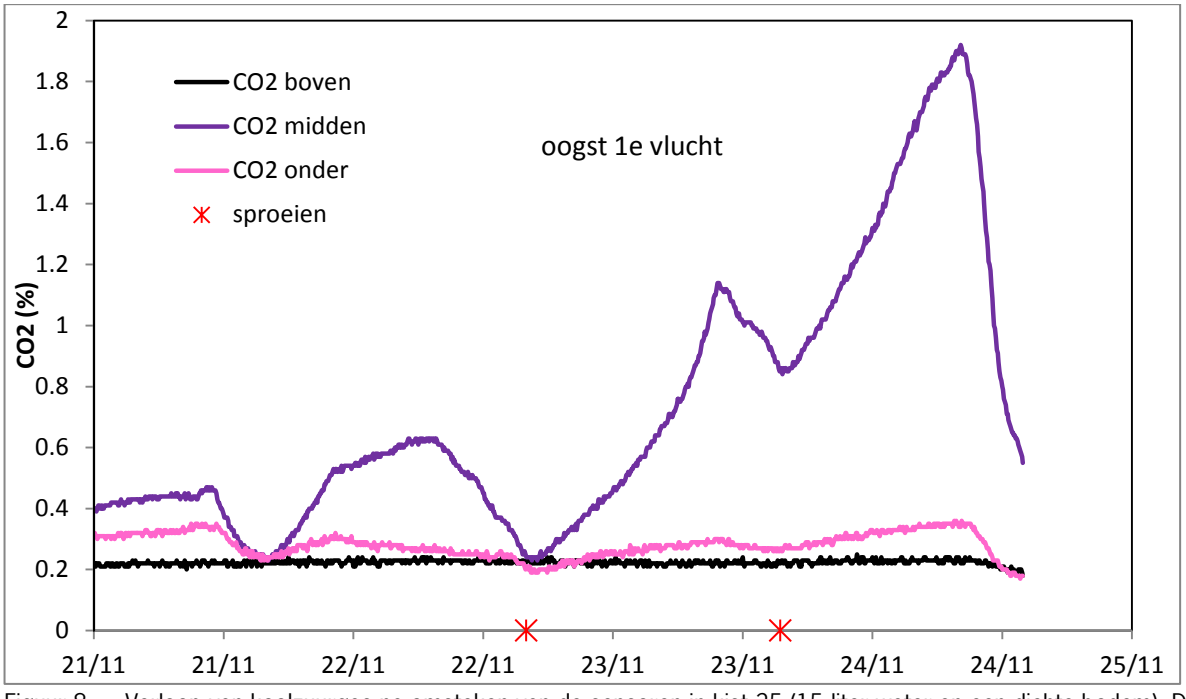
Figuur 6. Verloop van zuurstofgehalten in % g/g na omsteken van de sensoren in kist 35 (15 liter water en een dichte bodem).

Het temperatuurverloop over de gehele periode is ook opmerkelijk (Bijlage 5, Figuur 2). Tot 13 november wordt 21 graden Celsius aangehouden en dan wordt de temperatuur beheerst omlaag gebracht naar 17.5 graden op 18 november. De gemeten composttemperaturen liggen steeds 0.5 graden onder de ruimtetemperatuur (Figuur 7). Dat is ver van de verwachtte 2-3 graden boven de ruimtetemperatuur! Dit duidt erop dat de sensoren voornamelijk de buitenlucht meten. Er is geen aantoonbaar verschil tussen de temperaturen in de lagen terwijl toch verwacht mag worden dat de middelste laag warmer wordt dan de onder en bovenlaag omdat alle warmtetransport door de onder en bovenlaag moet verlopen. Tenslotte is er op 24 november een toename van de composttemperatuur tot plausibele hoogte.



Figuur 7. Verloop van temperatuur na omsteken van de sensoren in kist 35 (15 liter water en een dichte bodem).

Het koolzuurgasverloop tenslotte laat zien dat in de middenlaag inderdaad koolzuurgas ophoopt met een snelheid van 1-2 % per dag. Het is echter ook duidelijk te zien dat de opbouw van het koolzuurgasgehalte steeds plotseling doorbroken wordt en dan even snel weer wegzakt en pas na een watergift weer toeneemt. Het tijdstip van de watergift is weergegeven door een rode asterisk in de x-as. De onder en bovenlaag vertonen bijna geen toename van koolzuurgas. Het lijkt er dus op dat bij een hoog watergehalte alleen in de middenlaag geen gas weg diffundeert.



Figuur 8. Verloop van koolzuurgas na omsteken van de sensoren in kist 35 (15 liter water en een dichte bodem). De periode is verkort om overeen te komen met de periode voor de O_2 en temperatuur (Fig. 6 en 7).

4.4 Nacontrole

Door opschuiven van de levertijd waren vooraf geen controletesten mogelijk. Bij nacontroles bleek:

1. De uitwisseling van gasbuis naar sensor door diffusie door 1 meter slang en zou theoretisch snel moeten zijn. In een labtest van 21 naar 10% zuurstof bleek dit toch tot meer dan 10-20 uur vertraging in de meting te leiden.
2. Tijdens de meting leek de maximale zuurstofconcentratie 3-4% te dalen, maar achteraf bij laboratorium controle bleek er tot 3% drift op de sensors voor te komen.
3. Door afkoeling van de slangen aan de ruimte zal de gemeten temperatuur dichter bij de ruimtetemperatuur liggen dan bij de composttemperatuur.
4. De opstelling blijkt bij verzadiging met koolzuurgas en stikstofgas niet alleen door de compost te lekken maar incidenteel ook op kranen en aansluitingen.
5. De gasbuizen in de bakken blijven op het oog functioneel omdat ze lucht gevuld en in contact met de omringende compost blijven. De omhulling met gaas creëert echter veel extra ruimte om de gasbuizen waardoor dóór de compost lek naar de buitenlucht kan ontstaan.

4.5 Discussie

De apparatuur en de opstelling voldeden niet. Al met al kan voor dit type bepaling beter een recirculerende opstelling gemaakt worden waarin lucht rondgepompt wordt en de meting plaatsvind in een kleine aftakking op de recirculatie lus. Meetvertraging speelt dan minder een rol en door incidenteel spoelen met stikstof of koolzuurgas kan tijdens de proef een controle op de werking uitgevoerd worden. Dit geeft zekerheid over het functioneren van de opstelling.

De laagst gemeten zuurstofgehalten lagen op 16% bij de uitgroei na de eerste oogst ten opzichte van 13.2% in de proef in 2010 in een onderste laag. In de 2011 teelt zijn ook nauwelijks verschillen tussen de lagen gevonden. Alleen in de periode 23-24 november lijkt duidelijk dat het zuurstofgehalte in de onderlaag lager is dan in de middenlaag en het hoogst in de bovenlaag. De verschillen zijn echter een factor tien lager dan in 2010; 0.5% in plaats van 5%.

Het hoogst gemeten koolzuurgasgehalte was 2% terwijl gemiddeld minder dan 0.4% werd gemeten. In de periode 23-24 november is er bij natte omstandigheden een toename van koolzuurgasgehalte van 1-2% per dag terwijl bij iets droger omstandigheden de netto afname 2% bedraagt. De werkelijke afname bij een productie van 1-2% is dus 3-4% per dag.

De temperatuurmetingen volgden de ingestelde ruimtetemperatuur maar lieten niets zien van de verwachte groeidynamiek of hogere composttemperatuur in de bak. Alleen in de periode 23-24 november liet de temperatuur een piek zien tot aan de normale compostwaarden. Omdat de vertering een vrij nauwkeurig bepaalde hoeveelheid energie vraagt, en het afvoeren van die energie alleen kan bij een bepaalde temperatuurgradiënt, betekent het ontbreken van de gradiënt dat er een lek naar de lucht in de cel is. Door de lange leiding buiten de bak is de temperatuur van het gas bij de sensor veel lager dan bij de buis in het compost.

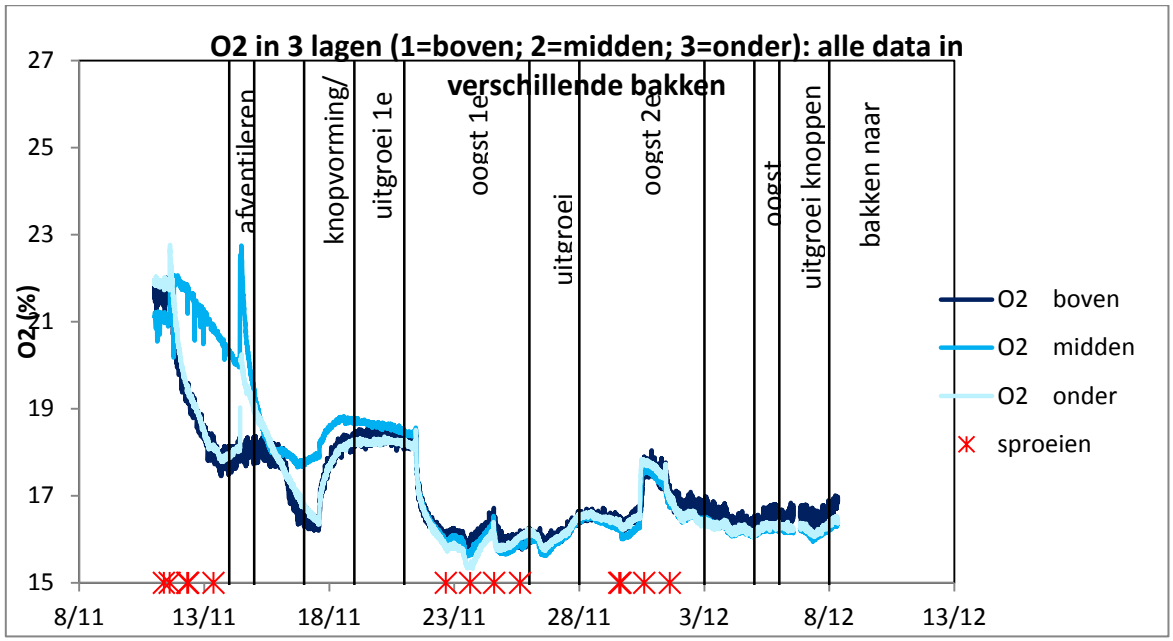
De gekozen opstelling toont niet de gezochte laagdynamiek maar volgt het klimaat buiten de bak. Dit duidt op een gaslek. Het gaslek lijkt door de compost naar de holte om de gasbuizen te lopen en niet door de leidingen naar de sensoren. Dit blijkt uit de invloed van het vochtgehalte op de toe of afname van het koolzuurgas in de periode 23-24 november. Dit gaslek is niet de normale doorlatendheid van de compostlaag omdat de gemeten temperatuur veel te laag is voor normaal functionerende compost.

4.6 Conclusies

1. De gekozen opstelling heeft last van gaslek. Het gaslek loopt door de compost naar de holte om de gasbuizen die door de omhulling met gaas extra ruim is. Dit gaas moet voortaan achterwege gelaten worden.
2. Het vochtgehalte van de compost is van grote invloed op het al dan niet oplopen van koolzuurgas en temperatuur. Direct na een gietbeurt loopt het koolzuurgasgehalte op met 1-2% per dag.
3. Het maximum koolzuurgasgehalte is met 2% lager dan de 5% verlaging van zuurstofgehalte. Aangenomen dat zuurstofafname en koolzuurgastoename bij aerobe omstandigheden ongeveer gelijk zijn, duidt dit op problemen met één of beide metingen.

4. De laagst gemeten zuurstofgehalten lagen op 16% bij de uitgroei na de eerste oogst. Dit is waarschijnlijk nog hoger dan het zuurstofgehalte in de compost verder van de gasbuizen, door het geconstateerde gaslek.
5. In de periode 23-24 november is het zuurstofgehalte in de onderlaag lager dan in de middenlaag en het hoogst in de bovenlaag. De verschillen zijn echter een factor tien lager dan in 2010; 0.5% in plaats van 5%.
6. De temperatuurmetingen volgden de ingestelde ruimtetemperatuur afgezien van een piek in de periode 23-24 november. Dit is voor een groot deel een artefact door afkoeling aan de relatief lange slang van gasbuis in de bak naar sensor buiten de bak.
7. De grote invloed van grove poriën (en vochtgehalte) naar de holte om de gasbuis laat zien hoe belangrijk structuur en vulmethode van de compost kunnen zijn op composttemperatuur. Dit verdient meer onderzoek en kan deels gemodelleerd worden om kosten van experimenten te beperken. Zo kan de praktijk specifiekere eisen stellen aan afgeleverde compost.

Bijlage 5 Zuurstof, koolzuurgas en temperatuur verloop over de gehele teelt, in verschillende kisten gemeten



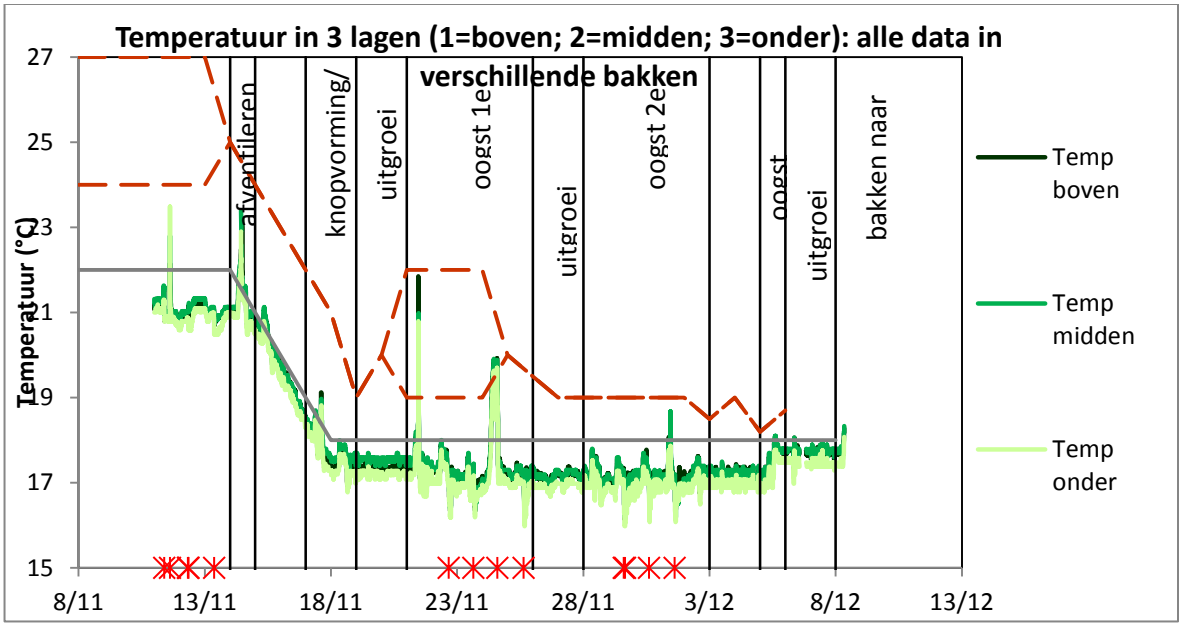
Figuur 1: De gemeten zuurstofgehalten gedurende de teelt. Let op: de sensoren zijn 5-7 keer verwisseld van kist naar kist.

Tabel 1 : O_2 elektroden

Datum	Tijd	Bak	behandeling		opmerking
14-nov-11		26	15 liter water per m^2	spleetbodem	
17-nov-11	14:30	5	geen water, afgedekt		
21-nov-11	11:00	35	15 liter water per m^2	dichte bodem	
24-nov-11	13:55	36	15 liter water per m^2	dichte bodem	
30-nov	10:00	-	los in de ruimte		controle of O_2 terugkomt op 21%
1-dec	10:45	35	15 liter water per m^2	dichte bodem	
8-dec	8:00				bakken 35 en 36 naar Bleiswijk

Tabel 2: Baknummers en behandelingen

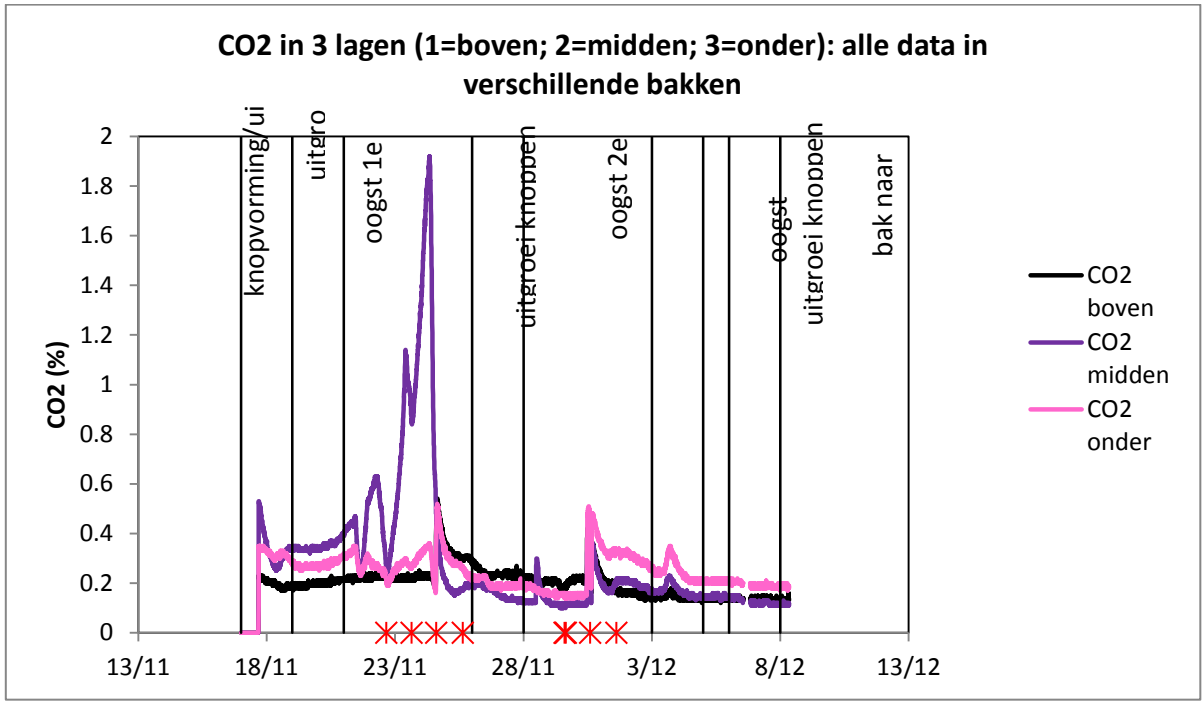
Baknr.	Behandeling	Bodem	Positie bak
5, 6:	geen water, afgedekt		laag 2, links
15, 16:	0.5 liter water per m^2 per dag		laag 2, rechts
25, 26:	15 liter water per m^2	spleetbodem	laag 3, links
35, 36:	15 liter water per m^2	dichte bodem	laag 3, rechts



Figuur 2: De gemeten temperaturen gedurende de teelt. Let op: de sensoren zijn 5-7 keer verwisseld van kist naar kist.

Tabel 3 : Temperatuur (en O_2) elektroden

Datum	Tijd	Bak	Behandeling	Bodem	Opmerking
14-nov-11		26	15 liter water per m^2	spleetbodem	
17-nov-11	14:30	5	geen water, afgedekt		
21-nov-11	11:00	35	15 liter water per m^2	dichte bodem	
24-nov-11	13:55	36	15 liter water per m^2	dichte bodem	
30-nov	10:00	-	los in de ruimte		controle of O_2 terugkomt op 21%
1-dec	10:45	35	15 liter water per m^2	dichte bodem	
8-dec	8:00				bakken 35 en 36 naar Bleiswijk



Figuur 3: De gemeten koolzuurgasgehalten gedurende de teelt. Let op: de sensoren zijn 5-7 keer verwisseld van kist naar kist.

Tabel 4: CO_2 elektroden

Datum	Tijd	Bak	Behandeling	Bodem vd bak	Opmerking
11-nov-11		25	15 liter per m^2	spleetbodem	pas data na 17 nov
24-nov-11		25	15 liter per m^2	spleetbodem	electrode 2 midden
	14:00	26	15 liter per m^2	spleetbodem	electrode 1 boven
	14:00	26	15 liter per m^2	spleetbodem	elektrode 3 onder
28-nov	11:30	26	15 liter per m^2	spleetbodem	electrode 2 midden; ie. alle 3 zitten in bak 26
30-nov	11:05	26	15 liter per m^2	spleetbodem	slang 1 x legen met 50 ml spuit en weer aansluiten
30-nov	15:05	36	15 liter per m^2	dichte bodem	geen spleetbodem; dus de natter dan 25 en 26
8-dec	8:00				bakken 35 en 36 naar Bleiswijk



PLANT RESEARCH INTERNATIONAL

WAGENINGEN UR