

Seizoensinvloed op de kwaliteit van stro en op het stro in paardenmest; Oplossingen voor procesvoering en compost-kwaliteit.

Auteurs:

Gerben Straatsma, Tineke Olijnsma, Henk Swinkels en Jacqueline Baar

© 2004 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

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

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

Dit onderzoek wordt gefinancierd door:

- Productschap Tuinbouw
- Composteerders lid van de VPN

Projectnummer: 620144/ 620174

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
Sector Paddestoelen

Adres : Peelheideweg 1, America
: Postbus 6042, 5960 AA Horst
Tel. : 077 – 464 75 75
Fax : 077 - 464 15 67
E-mail : info.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
1 INLEIDING	5
1.1 Probleemstelling	5
1.2 Doelstelling	5
2 MATERIAAL EN METHODEN	6
2.1 Inleiding	6
2.2 Proefopzetten.....	6
2.3 Seizoenen	6
2.4 Grondstoffenmengsel, toedieningen, compostering en teelt	8
2.5 Bemonstering en analyses.....	9
2.6 Gegevensverwerking en statistische analyse.....	10
3 RESULTATEN	12
3.1 Opbrengst van champignons	12
3.2 Procesverloop	14
3.2.1 Percolatie.....	14
3.2.2 Streefwaarden voor vocht en stikstof	14
3.2.3 Rendementen	16
3.3 Seizoenseffecten	18
3.4 Extra analyses aan compost.....	19
3.4.1 Biomassa; CO ₂ productie.....	19
3.4.2 Vezelbepalingen.....	19
3.4.3 Waslaag.....	20
3.5 Kwaliteit champignons.....	20
4 DISCUSSIE	22
4.1 Opbrengst en NH ₄ -N gehalte	22
4.2 Complexe procesgang	22
4.3 Seizoenseffecten	23
5 CONCLUSIES	24
6 SUGGESTIES VOOR VERDER ONDERZOEK.....	25

Samenvatting

Vrijwel elk jaar treden in de periode juli-oktober problemen op bij de composteerders met de productie van compost en bij de telers met de teelt van champignons. Kenmerkend voor de kritische periode is onder andere dat in de paardenmest oud stro wordt vervangen door nieuw stro.

Het doel van het onderzoek was om het effect vast te stellen van het meer of minder toevoegen van water en (organische en anorganische) stikstof aan compost gemaakt in de kritische en niet-kritische periode. De effecten op de champignonopbrengst en -kwaliteit en op het verloop van composteringsspecifieke kenmerken waren daarbij cruciaal. Er werden vijf compostering- en teeltextperimenten uitgevoerd. Twee experimenten werden in de kritische periode uitgevoerd, twee experimenten er vlak vóór en het vijfde experiment werd in de tussenliggende periode uitgevoerd.

De champignonopbrengst werd beïnvloed door de vocht- en stikstoftoedieningen. Uitsluitend een vochttoediening ter verhoging van het vochtgehalte voor Fase-I leidde tot een relatief lage opbrengst, relatief veel percolatie bij de start van Fase-I en tot een achteruitgang van het N-totaal gehalte. Er zijn risico's verbonden aan percolatie in Fase-I in verband met de uiteindelijke samenstelling van de compost. De champignonopbrengsten over de vijf proeven werden statistisch het beste verklaard met de $\text{NH}_4\text{-N}$ en NDF gehalten na Fase-III. De hoogste opbrengsten werden behaald bij $\text{NH}_4\text{-N}$ gehalten na Fase-III van ongeveer 0.1 %; onder de proefomstandigheden hadden hogere gehalten een negatief effect op de opbrengst. Enerzijds is een matig gehalte aan $\text{NH}_4\text{-N}$ een indicatie voor de aanwezigheid van voldoende stikstof voor een goede opbrengst, anderzijds is een hoog gehalte aan $\text{NH}_4\text{-N}$ mogelijk een indicatie voor het optreden van zelfvergiftiging van het champignonmycelium. Er zijn waarschijnlijk risico's verbonden aan de $\text{NH}_4\text{-N}$ vorming tijdens Fase-III in verband met de champignonopbrengst.

Het rendement, het droge stofverlies en het vochtverlies kwamen door interacties van factoren, complex, tot stand. Percolatie en het stikstofgehalte speelden onder andere een rol. Door de complexiteit zijn vuistregels voor verliezen niet voldoende. Om verliezen te kunnen voorspellen en te sturen zijn rekenregels nodig.

Er werden richtwaarden opgesteld voor het vocht- en stikstofgehalte voorafgaand aan Fasen I tot en met III waarmee, onder de gerealiseerde proefomstandigheden, uitgekomen werd op gehalten na Fase-III van vocht en stikstof van respectievelijk 65 en 2.2 %.

Duidelijke seizoenseffecten op de champignonopbrengst en -kwaliteit konden niet worden vastgesteld, waardoor geen directe richtlijnen gegeven kunnen worden voor aanpassingen tijdens de seizoensovergang. Er werd een aanwijzing verkregen dat 'jonge' grondstoffenmengsels iets gemakkelijker in vochtgehalte achteruitgingen en iets minder stikstof 'inbouwden' dan 'oude' grondstoffenmengsels, met name in Fase-III.

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Vrijwel elk jaar treden in de periode juli-oktober problemen op bij de composteerders met de productie van compost en bij de telers met de teelt van champignons. De opbrengstderving aan champignons bij de telers wordt geschat op tien procent wat overeenkomt met ruim 3 procent van de jaarproductie in Nederland. Als uitgegaan wordt van een productiewaarde van Nederlandse champignons van 320 miljoen Euro per jaar, dan bedraagt het economisch verlies in deze periode ruim 10 miljoen Euro.

De genoemde problemen treden vaak gelijktijdig op bij alle composteerders. Echter, de duur van de problemen kan tussen composteerders verschillen. Het gelijktijdig optreden suggereert dat het een algemeen probleem is en te maken heeft met de kwaliteit of samenstelling van de grondstoffen die op alle bedrijven worden gebruikt. Kenmerkend voor de periode juli-oktober is onder andere dat in de paardenmest oud stro wordt vervangen door nieuw stro.

De omschakeling van oud naar nieuw stro in de paardenmest vindt in het algemeen vrij plotseling plaats en uit zich in een lagere aantastingsgraad van de paardenmest. De ruigheid van de mest neemt toe en het vocht dat wordt toegediend wordt moeizaam opgenomen. Om toch voldoende vochtopname te realiseren, wordt door composteerders water bijgegeven waardoor mengsels druipend Fase-I ingaan. Het composteringsrendement kan daardoor afnemen en er kunnen problemen ontstaan bij het NH_3 -vrij worden in Fase-II. Dit alles kan leiden tot problemen met de activiteit en beheersbaarheid van de composteringsprocessen en tot een matige productie en zwakke kwaliteit bij de telers. De genoemde problemen zijn tijdens de teelt niet bij voorbaat toe te schrijven aan de compostkwaliteit. Ook de vaak specifieke teeltomstandigheden in het najaar kunnen problemen geven.

De composteerders in Nederland en België streven naar een goede kwaliteit van hun compost. Gezamenlijk willen zij duidelijkheid of de 'matige' compostkwaliteit in de periode juli-oktober de oorzaak is voor de vastgestelde productieverlaging. Als dat het geval is, zou vervolgens moeten worden vastgesteld of de eventueel matige compostkwaliteit samenhangt met seizoensafhankelijke eigenschappen van het grondstoffenmengsel in de 'kritische' periode en hoe hierin verbeteringen zijn te realiseren. Echter, het is onbekend in hoeverre de matige compostkwaliteit wordt veroorzaakt door variaties in het vochtgehalte van het mengsel, het stikstofgehalte van het mengsel en de stikstofvorm (organisch of anorganisch).

1.2 Doelstelling

Het doel van het onderzoek was om het effect vast te stellen van het meer of minder toevoegen van water en (organische en anorganische) stikstof voorafgaand aan Fase-I en Fase-II op:

- het verloop van composteringskarakteristieken
- fysisch-chemische karakteristieken van de compost in de verschillende fasen van productie tot in de teelt
- het composteringsrendement
- de opbrengst en kwaliteit van de champignons op de geproduceerde composten.

In het onderzoek zijn de effecten op de genoemde parameters bestudeerd.

2 Materiaal en Methoden

2.1 Inleiding

In een vergelijkend onderzoek werden de effecten vastgesteld van het meer of minder toevoegen van water en organische dan wel anorganische stikstof voorafgaand aan Fase-I en Fase-II aan grondstoffenmengsels uit verschillende seizoenen. Er werden vijf compostings en teeltproeven over de seizoenen uitgevoerd. De grondstoffen voor de grondstoffenmengsels voor de proeven werden door Walkro, De Kleyn en CNC bijeengebracht. Het grondstoffenmengsel werd door de CNC bereid en geleverd aan PPO-Paddestoelen. Het composteren en de teelt in de vijf proeven werd onder telkens vergelijkbare omstandigheden uitgevoerd in het proefbedrijf van PPO.

Tijdens de tunnelproeven werden karakteristieken van het compostingsproces gemeten. Daarnaast werden standaardanalyses, bepalingen en observaties uitgevoerd aan de substraten na Fase I, na Fase II, na het doorgroeien en tijdens de teelt. Ook werden drie extra parameters bepaald die mogelijk perspectief bieden als 'kwaliteitsparameter' voor compost, namelijk: i) CO₂ productie bij monsterincubatie, ii) 'nat-chemische' vezelbepalingen NDF, ADF, ADL, en iii) waslaagbepaling. Tijdens teelt en oogst werden de champignonopbrengsten bepaald, de kwaliteits- en grootte verdeling van de champignons en het kwaliteitsverlies tijdens bewaring.

Om de uitvoering van de proeven mogelijk te maken en om de voortgang van het project te bewaken was een begeleidingscommissie ingesteld. Eén van de leden van de begeleidingscommissie fungeerde als coördinator bij de productie en levering van het grondstoffenmengsel voor de proeven aan PPO. Deze persoon was tevens beschikbaar voor het overleg over eventueel uit te voeren correcties in procesgang of substraat door PPO tijdens Fasen I en II en de teelt. De gehele commissie was betrokken bij de visuele controle van de substraten tijdens de procesgang.

2.2 Proefopzetten

Er zijn vijf proeven uitgevoerd met 16 behandelingen per proef. Deze behandelingen bestonden uit toevoegingen aan de compost voor Fase-I en/of voor Fase-II van water, organische stikstof in de vorm van kuikenmest en anorganische stikstof in de vorm van zwavelzure ammoniak, (NH₄)₂SO₄ (Tabel 1). De eerste drie proeven waren identiek van opzet. Na proef drie werd in overleg met de begeleidingscommissie van het onderzoeksproject besloten om proeven vier en vijf iets anders op te zetten dan proeven een tot en met drie. Besloten werd om proeven vier en vijf elk acht behandelingen te laten bevatten die ook in de eerste drie proeven voorkwamen en daarnaast elk met acht behandelingen met een forse stikstoftoediening waarbij de stikstofverhoging twee maal zo groot was als in de eerste drie proeven. Het totaal aantal behandelingen over alle proeven was 31. De behandeling zonder toevoeging werd in alle vijf proeven uitgevoerd en kon over de proeven als een controle behandeling beschouwd worden. Het aantal behandelingen dat in vier proeven voorkwam was 15; het aantal behandelingen dat in slechts een proef voorkwam was ook 15 (Tabel 2). Er werden in totaal 5 * 16 = 80 verschillende composten geproduceerd waaraan waarnemingen werden gedaan.

2.3 Seizoenen

In een tijdsbestek van ongeveer 1½ jaar werden vijf proeven uitgevoerd die verdeeld waren over het verloop van de seizoenen. Proeven één en vier werden uitgevoerd met oud stro in de paardenmest, net voor de seizoenoverschakeling, en proeven twee en vijf met jong stro in de paardenmest, net na de seizoenoverschakeling in de kritische periode. Proef drie werd na de kritische periode uitgevoerd. In Tabel 3 zijn de tijdstippen waarop de proeven werden uitgevoerd weergegeven. De ouderdom van het stro in het

grondstoffenmengsel werd berekend door te middelen over de gewogen leeftijden van paardenmest en stro, waarbij de gewichtsverdeling van 75 en 25 % respectievelijk gebruikt werd.

Tabel 1. Schematische weergave van de opzetten van in totaal vijf proeven met in totaal 31 behandelingen. Elke individuele proef bestond uit 16 behandelingen. De getallen in de kolommen over toedieningen zijn verhogingen in procentpunten. De stikstoftoedieningen km en za zijn afkortingen voor kuikenmest en zwavelzure ammoniak.

behandeling	proeven 1, 2, 3, 4, 5	watertoediening		stikstoftoediening	
		Fase-I	Fase-II	Fase-I	Fase-II
1	1, 2, 3, 4 -	0	1	0.3 km	0
2	1, 2, 3, 4 -	0	0	0.3 km	0
3	1, 2, 3, 4 -	0	1	0.3 za	0
4	1, 2, 3, 4 -	0	0	0.3 za	0
5	1, 2, 3, - 5	3	1	0.3 km	0
6	1, 2, 3, - 5	3	0	0.3 km	0
7	1, 2, 3, - 5	3	1	0.3 za	0
8	1, 2, 3, - 5	3	0	0.3 za	0
9	1, 2, 3, - 5	0	1	0	0
10	1, 2, 3, 4, 5	0	0	0	0
11	1, 2, 3, - 5	0	1	0	0.1 za
12	1, 2, 3, - 5	0	0	0	0.1 za
13	1, 2, 3, 4 -	3	1	0	0
14	1, 2, 3, 4 -	3	0	0	0
15	1, 2, 3, 4 -	3	1	0	0.1 za
16	1, 2, 3, 4 -	3	0	0	0.1 za
17	- 4 -	0	1	0.6 km	0
18	- 4 -	0	0	0.6 km	0
19	- 4 -	0	1	0.6 za	0
20	- 4 -	0	0	0.6 za	0
21	- 4 -	3	1	0	0.2 km
22	- 4 -	3	1	0	0.2 za
23	- 4 -	3	0	0	0.2 za
24	- - 5	3	1	0.6 km	0
25	- - 5	3	0	0.6 km	0
26	- - 5	3	1	0.6 za	0
27	- - 5	3	0	0.6 za	0
28	- - 5	0	1	0	0.2 km
29	- - 5	0	0	0	0.2 km
30	- - 5	0	1	0	0.2 za
31	- - 5	0	0	0	0.2 za

Tabel 2. Herhaling van behandelingen over proeven. De toedieningspercentages zijn verhogingen in procentpunten. De stikstoftoedieningen km en za zijn afkortingen voor kuikenmest en zwavelzure ammoniak.

vochttoediening fase-I	vochttoediening fase-II	stikstoftoediening								totaal	
		fase-I	geen	geen	geen	geen	0.3% km	0.3% za	0.6% km		0.6% za
		fase-II	geen	0.1% za	0.2% km	0.2% za	geen	geen	geen	geen	
		aantal proeven									
geen	geen		5	4	1	1	4	4	1	1	21
geen	1%		4	4	1	1	4	4	1	1	20
3%	geen		4	4		1	4	4	1	1	19
3%	1%		4	4	1	1	4	4	1	1	20
totaal			17	16	3	4	16	16	4	4	80

Tabel 3. Weergegeven is de datum waarop de vijf uitgevoerde proeven gestart werden. Op basis van het maand nummer, te beginnen met augustus als 0, werden de leeftijden van paardenmest en stro bepaald. Hieruit werd de leeftijd van het stro in het grondstoffenmengsel berekend.

	proef				
	1	2	3	4	5
startdatum proef	1 aug 02	3 okt 02	13 feb 02	18 sep 03	16 okt 03
maandnummer	8	10	2	9	10
leeftijd stro, maanden (augustus = 0)					
paardenmest	12	2	6	13	2
stro	12	14	6	13	14
gewogen leeftijd grondstoffenmengsel	12	5	6	13	5

2.4 Grondstoffenmengsel, toedieningen, compostering en teelt

Bij de start van het project werden door de composteerdere en PPO afspraken gemaakt over de samenstelling en productie van het grondstoffenmengsel waarmee de proeven zouden worden uitgevoerd. De composteerdere pasten recepten toe die onderling verschilden. Er werd een recept voor het grondstoffenmengsel voor de proeven afgesproken dat voor alle composteerdere herkenbaar was (Tabel 4). De composteerbedrijven CNC en de Kleyn zorgden voor paardenmest die 'typisch' was voor het seizoen waarin een proef werd uitgevoerd. Ook zorgden CNC en De Kleyn voor balen stro afkomstig uit respectievelijk Frankrijk en Duitsland. Walkro zorgde voor vaste kuikenmest voor de productie van het grondstoffenmengsel door de CNC en voor de toevoegingen aan de desbetreffende behandelingen door PPO. Vóór het maken van het grondstoffenmengsel werden alle grondstoffen geanalyseerd door CNC. Het stikstofgehalte van de kuikenmest werd gebruikt om uit te rekenen hoeveel kuikenmest gebruikt moest worden. Voor de proeven één en twee werden dezelfde partijen stro en kuikenmest gebruikt. Hiervoor was het nodig om de materialen vóór proef één te verzamelen en deels op te slaan tot aan gebruik voor proef twee. Voor proeven vier en vijf werd een zelfde aanpak gebruikt. Proef drie stond apart in de tijd en voor deze proef werden de grondstoffen apart bijeengebracht. De CNC mengde de grondstoffen in de afgesproken en berekende verhoudingen en voegde vocht toe tot het afgesproken gehalte. Een normale gipsdosering werd toegepast. Het grondstoffenmengsel werd vervolgens naar PPO overgebracht voor verdere behandeling volgens de proefopzetten.

In Tabel 4 worden de opeenvolgende handelingen weergegeven voor bemonsteringen en toedieningen van water en stikstof. Bij het toedienen van stikstof werd rekening gehouden met het relatief hoge droge stofgehalte van de stikstofbron en werd vocht toegediend ter correctie. In Tabel 4 is de procesgang in Fase-I samengevat. De opwarming tot 78 °C werd met de ingebouwde stoominstallatie van de proeftunnels van PPO ondersteund. De opwarming zoals die onder eigen activiteit in een normale tunnel zou plaatsvinden werd nagebootst. De uiteindelijke temperatuur van minimaal 78 °C werd minimaal 72 uur aangehouden. Het CO₂ gehalte werd gemeten en bleef beneden de 12 %. Afkoeling vond plaats in een halve dag met 4 °C per uur tot 40 °C. Het totale Fase-I proces duurde zo minimaal 4 1/2 dag.

Om de vochttoedieningen na Fase-I goed uit te voeren was het nodig het vochtgehalte van de composten te kennen. Bij het legen na Fase-I werden de composten bemonsterd en de vochtgehalten gemeten door een snelle vochtbepaling met een NIR-apparaat door Walkro. Door de hoge temperatuur in de gehele compostmassa tijdens Fase-I werd inoculatie met één procent entbare compost noodzakelijk geacht. De entbare compost werd door Walkro geleverd.

Tabel 4. Schematische weergave van handelingen vanaf de productie van het grondstoffenmengsel tot aan de teelt, inclusief essentiële parameterwaarden voor samenstelling en proces.

basismengsel	
aandeel paardenmest	70-80 %
aandeel stro, na bevochtiging	20-30 %
gips, standaard hoeveelheid	
stikstofgehalte, door toevoeging kuikenmest	1.80 %
vochtgehalte	75 %
handelingen voorafgaand aan Fase-I	
toediening water	0 of 3 %
toediening kuikenmest of zwavelzure ammoniak	0, 0.3 of 0.6 %
monstername, alle analyses	
weging substraat	
Fase-I	
opwarmen tot 78 oC; langzaam, met stoom	natuurlijk patroon
fase van hoge temperatuur, minstens 78 oC	minstens 72 uur
afkoeling	4 oC per uur tot 40 oC
handelingen voorafgaand aan Fase-II	
weging substraat	
monstername, vocht	
generieke watergift	2 %
inoculatie entbare compost	1 %
toediening kuikenmest of zwavelzure ammoniak	0, 0.1 of 0.2 %
opslag in containers, overnacht	
leggen containers	
toediening water	0 of 1 %
monstername, alle analyses	
weging substraat	
Fase-II	
standaard; volledige NH3 afbouw in controle	
handelingen voorafgaand aan Fase-III	
weging substraat	
monstername, alle analyses	
inoculatie champignonbroed U1	
handelingen voorafgaand aan teelt	
weging substraat	
monstername, alle analyses	
bijvoeden Millichamp 3000	13 kg/ton
dekaarde, CNC, 'nat +'	

2.5 Bemonstering en analyses

Vóór de composteringsfasen en na Fase-III werden van alle compostbehandelingen monsters genomen (zie Tabel 4) voor uitgebreide analyses. Deze analyses omvatten minimaal natchemische bepalingen van de gehalten aan vocht, N-totaal, $\text{NH}_4\text{-N}$, en as door PPO. Dezelfde parameters werden ook met behulp van een snelle NIR-meting bepaald door Walkro. Incidenteel werd bemonsterd en geanalyseerd ten behoeve van de vocht en stikstoftoedieningen. Tabel 5 geeft een overzicht van bemonsteringstijdstippen en uitgevoerde analyses.

Ter aanvulling van de gebruikelijke parameters werden drie extra parameters bepaald:

1- CO_2 -productie, als maat voor de hoeveelheid biomassa

De genomen monsters werden eerst opgeslagen in een $-20\text{ }^\circ\text{C}$ vriezer. Voorafgaand aan de analyses werden de monsters twee uur 'genivelleerd' bij $20\text{ }^\circ\text{C}$. Submonsters van 30 g werden geïncubeerd in een meetopstelling bij $20\text{ }^\circ\text{C}$ gedurende twee uur. De CO_2 concentratie in de gehele incubatieruimte, de 'headspace-plus', werd genomen als maat voor de CO_2 productie van de compost.

2- NDF, ADF en ADL vezelanalyses op conventionele, natchemische wijze, uitgevoerd

Deze analyses karakteriseren de koolhydraten die in de compostmonsters aanwezig zijn (Bijlage 1). De bepalingen werden uitgevoerd door het BLGG.

3- hoeveelheid was op strodeeltjes; waslaag

De monsters voor deze bepaling werden eerst gespoeld met water om mineralen en colloïden te verwijderen. Na het spoelen bleef de 'strofractie' over. Deze strofractie werd door PPO verzameld en gewogen. Vervolgens werd de strofractie geanalyseerd op de hoeveelheid was. De strofractie werd behandeld met een chloroform-methanol mengsel voor de extractie van cuticulair was. De washoeveelheid werd na indampen van het afgefilterde extract gewogen (Ni *et al.* 1998, Sun & Sun 2001). De wasanalyse werd uitgevoerd door het BLGG.

De geogste champignons werden geanalyseerd op het aandeel 'kwaliteit 1' van het totaal en op het aandeel champignons met een diameter van 60 mm of meer van het totaal. Met computerbeeldanalyse, CBA, werd van champignons de 'witheidsindex' bepaald direct na het oogsten en van dezelfde champignons een week na bewaring bij 4 °C. Hieruit werd een maat voor de houdbaarheid afgeleid.

2.6 Gegevensverwerking en statistische analyse

De data van de vijf experimenten werden statistisch geanalyseerd met variantieanalyses, Anova's, en regressieanalyses (Sokal & Rohlf 1995). Deze analyses werden uitgevoerd door Biometris, Wageningen-UR, met behulp van het statistiekprogramma Genstat.

Tabel 5. Overzicht van uitgevoerde waarnemingen en analyses vanaf het vullen van het grondstoffenmengsel voor Fase-I tot aan het einde van de teelt.

	voor Fase-I	na Fase-I	voor Fase-II	na Fase-II	na Fase-III	teelt
procesgang						
gewicht compost	+	+	+	+	+	-
hoogte compost	-	+	-	+	+	-
temperatuur	-	+	-	+	+	+
champignonopbrengst						
opbrengst, kg/ton						+
opbrengst, kg/ton droge stof						+
opbrengst, financieel						+
champignonkwaliteit						
aandeel 1						+
grootte, aandeel 60 mm						+
bewaarbaarheid, witheidsindex						+
compostanalyses						
<i>PPO; klassiek</i>						
pH	+	-	+	+	+	-
vochtgehalte, %	+	+	+	+	+	-
NH4-N gehalte, %	+	-	+	+	+	-
Nkjel gehalte, %	+	-	+	+	+	-
N-totaal gehalte, %	+	-	+	+	+	-
asgehalte, %	+	-	+	+	+	-
biomassa, CO2 productie	-	+	-	-	+	-
waslaag	+	+	-	+	-	-
<i>BLGG; klassiek</i>						
NDF, g/kg droge stof	+	-	-	-	+	-
ADF, g/kg droge stof	+	-	-	-	+	-
ADL, g/kg droge stof	+	-	-	-	+	-
<i>NIR, Walkro</i>						
vochtgehalte %	+	+	+	+	+	-
NH4-N gehalte, %	+	+	+	+	+	-
Nkjel gehalte, %	+	+	+	+	+	-
N-totaal gehalte, %	+	+	+	+	+	-
asgehalte, %	+	+	+	+	+	-
NDF, % van droge stof	-	+	+	+	+	-
ADF % van droge stof	-	+	+	+	+	-

3 Resultaten

3.1 Opbrengst van champignons

De opbrengst van champignons was significant het laagst in de composten waaraan géén stikstof was toegevoegd maar voor Fase-I wel water (Tabel 6, vetgedrukte opbrengsten, $p < 0.05$). Deze composten hadden bij het vullen voor Fase-I gemiddeld een vochtgehalte van 77.7 % en een totaal stikstofgehalte van 1.75 %. De opbrengstreductie ten opzichte van de overige behandelingen was bijna 13 %. De lage opbrengsten waren positief gecorreleerd met de lage stikstofgehalten die waren ontstaan door uitsluitend de toediening van water. Deze lage stikstofgehalten ontstonden in Fase-I, bleven laag tot en met Fase-III en waren dan gemiddeld 1.8 %. Een hoog vochtgehalte van de compost bij het vullen voor Fase-I vormde blijkbaar een risico voor stikstofverlies in Fase-I tot een zodanig laag stikstofniveau dat opbrengst beperking het gevolg was. De behandelingen waaraan èn geen stikstof èn geen water was toegediend hadden na Fase-III een stikstofgehalte van 2.0 %.

Tabel 6. Champignonopbrengsten, uitgedrukt in kg per ton doorgegroeide compost, gemiddeld over alle proeven. Bijna de helft van de behandelingen werd slechts éénmaal uitgevoerd (zie Tabel 2).

vochttoediening		stikstoftoediening								totaal	
fase-I	fase-II	fase-I	geen	geen	geen	geen	0.3% km	0.3% za	0.6% km		0.6% za
		fase-II	geen	0.1% za	0.2% km	0.2% za	geen	geen	geen		geen
		opbrengst, kg/ton									
geen	geen	371	389	275	319	397	368	326	286	366	
geen	1%	363	363	296	311	378	374	353	302	359	
3%	geen	328	365		322	381	376	355	312	357	
3%	1%	324	370	346	323	382	366	330	334	355	
totaal		348	372	306	319	384	371	341	308	359	

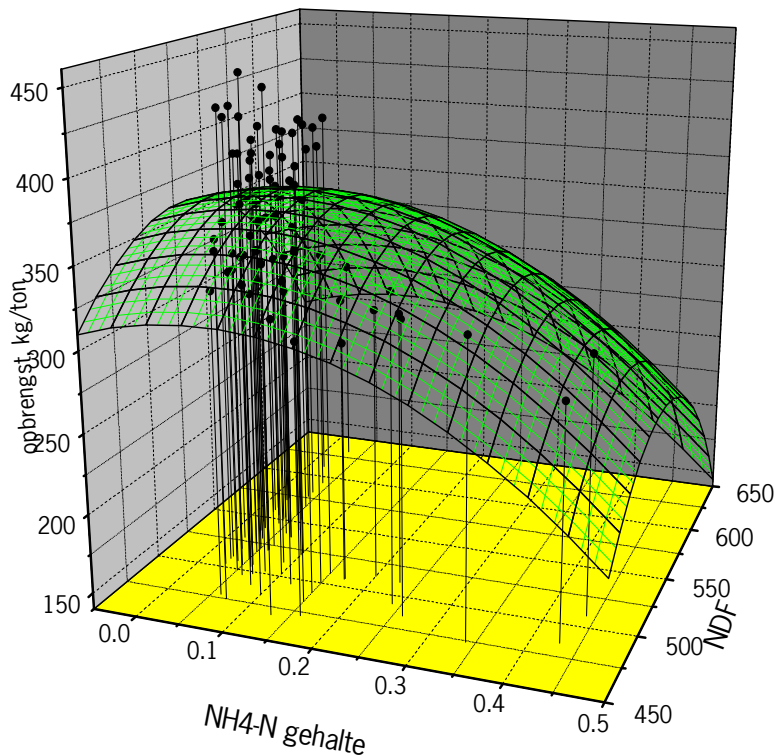
De opbrengsten in proeven vier en vijf, met in totaal 16 behandelingen die slechts éénmaal werden uitgevoerd, lagen op een relatief laag niveau. De bijzonder lage opbrengsten rond 300 kg/ton bij enkele behandelingen waren positief gecorreleerd met of lage vochtgehalten of hoge stikstofgehalten die door deze behandelingen waren ontstaan. (Bijlage 2, subtabellen 2, 3 en 4). De effecten die verkregen werden met de hogere stikstoftoedieningen, 'hard aanpakken', waren niet positief.

De regressie analyses suggereerden dat de $\text{NH}_4\text{-N}$ en NDF gehalten na Fase-III de champignonopbrengst goed verklaarden. De regressie kon geformuleerd worden als: $\text{Opbrengst} = 372.4 - 4.661 * (\text{NH}_4\text{-N} - 0.09)^2 - 0.00794 * (\text{NDF} - 529)^2$ (Fig. 1). Uit de formule kwamen optima naar voren voor respectievelijk het $\text{NH}_4\text{-N}$ en het NDF gehalte van 0.09 en 529. In de analyses werd niet verder gegaan dan het zoeken naar mogelijk parabolische verbanden (Tabel 7). Afzonderlijke parameters die een duidelijke relatie met de opbrengst hadden waren de pH, en de gehalten aan $\text{NH}_4\text{-N}$, N-totaal, NDF en ADF (Tabel 7, hoge waarden voor R en lage waarden voor p). De parameters die met de opbrengst waren gecorreleerd bleken ook onderling gecorreleerd (Bijlage 3).

De relatie tussen de pH en de opbrengst was sterk maar een oorzakelijk verband tussen pH en opbrengst was niet direct duidelijk. Een oorzakelijk parabolisch verband tussen het $\text{NH}_4\text{-N}$ gehalte en de opbrengst was aannemelijk. $\text{NH}_4\text{-N}$ gehalten waren een uitdrukking van N-totaal gehalten. Enerzijds kon een laag stikstofgehalte beperkend zijn voor de champignonopbrengst, anderzijds kon een hoog stikstofgehalte waarschijnlijk leiden tot het vrijmaken van relatief veel $\text{NH}_4\text{-N}$ waardoor het groeiend champignonmycelium zichzelf vergiftigde. Hoge $\text{NH}_4\text{-N}$ gehalten waren gekoppeld met lage pH waarden en het was niet ondenkbaar dat het effect van de pH op de opbrengst op een indirecte manier tot stand kwam, bijvoorbeeld

door het vrijmaken van NH₄-N uit N-totaal, of door het vergroten van de gevoeligheid van het mycelium voor NH₄-N. Een parabolisch verband tussen de opbrengst en het NDF gehalte kon niet direct geduid worden.

Figuur 1. Weergave van de relatie tussen de opbrengst en het NH₄-N gehalte en het NDF gehalte na Fase-III. De regressie kon geformuleerd worden als: $\text{Opbrengst} = 372.4 - 4.661 * (\text{NH}_4\text{-N} - 0.09)^2 - 0.00794 * (\text{NDF} - 529)^2$; $R^2 = 0.20$, $p = 0.002$. De optima voor respectievelijk het NH₄-N en het NDF gehalte waren 0.09 en 529.



Tabel 7. Weergave van de relatie tussen de opbrengst en individuele parameters gemeten na Fase-III. Zowel de lineair als de parabolische relaties worden gegeven (R: correlatie coëfficiënt p: kans tussen 0 en 1 dat er geen verband is; significante relaties zijn vet gedrukt).

parameter	relatie met opbrengst		parabolisch verband		
	lineair verband		R ²	p	buigpunt
pH	-0.02	0.90	0.24	< 0.0001	6.3
vochtgehalte	-0.04	0.69	0.01	0.82	
NH ₄	-0.27	0.01	0.11	0.01	0.09
N-totaal	0.09	0.44	0.12	0.01	2.24
as	0.02	0.90	0.06	0.11	
NDF	-0.10	0.38	0.10	0.02	529
ADF	0.14	0.23	0.10	0.02	443
ADL	0.01	0.95	0.03	0.30	

De statistische verklaring van de opbrengst was afhankelijk van de proeven die in de analyse werden meegenomen. In de besprekingen die tijdens de uitvoering van het project werden gehouden zijn uitkomsten van analyses over de eerste drie proeven gerapporteerd. Toen werd onder andere het ADL gehalte geïdentificeerd als verklarende parameter. Over alle vijf proeven bleek dat resultaat niet consistent te zijn.

Als echter het effect van de na vijf proeven geïdentificeerde verklarende parameters NH₄-N en NDF werd onderzocht in de verzamelde gegevens van alleen de eerste drie proeven, of van alle proeven met uitzondering van de behandelingen met erg hoge stikstof toevoegingen, dan waren de correlaties tussen opbrengst en deze parameters significant aanwezig.

3.2 Procesverloop

3.2.1 Percolatie

Opvallend bij de start van Fase-I was de optredende percolatie uit de composten die een grote vochttoediening hadden ontvangen. Hoewel de hoeveelheden percolaat niet gemeten werden konden toch indicaties over de betekenis van percolatie verkregen worden. Fig. 2 laat zien dat de composten na Fase-I een maximaal vochtgehalte hadden van ongeveer 78 %. Extreem hoge vochtgehalten voor Fase-I waren onvoldoende om na Fase-I een hoger gehalte te bereiken.

Door de droge stof en vochtverliezen in Fase-I te analyseren waren ook aanwijzingen over de betekenis van percolatie te krijgen. Voor vochtverlies door verdamping is warmte nodig. Deze wordt geproduceerd bij de afbraak van droge stof. Het is bekend dat per afgebroken kilogram droge stof ongeveer 7 liter water kan verdampen (Straatsma *et al.* 2000). De vochtverliezen per afgebroken kilogram droge stof werden berekend voor de behandelingen die tenminste in vier proeven waren uitgevoerd (Tabel 8). Zowel vocht- als stikstof toedieningen leidden tot relatief grote vochtverliezen. Het toedienen van water aan compost met een hoog vochtgehalte, ook als het gaat om een vochtcorrectie voor het toedienen van een stikstofhoudende grondstof met een laag vochtgehalte, resulteert blijkbaar in een risico voor percolatie.

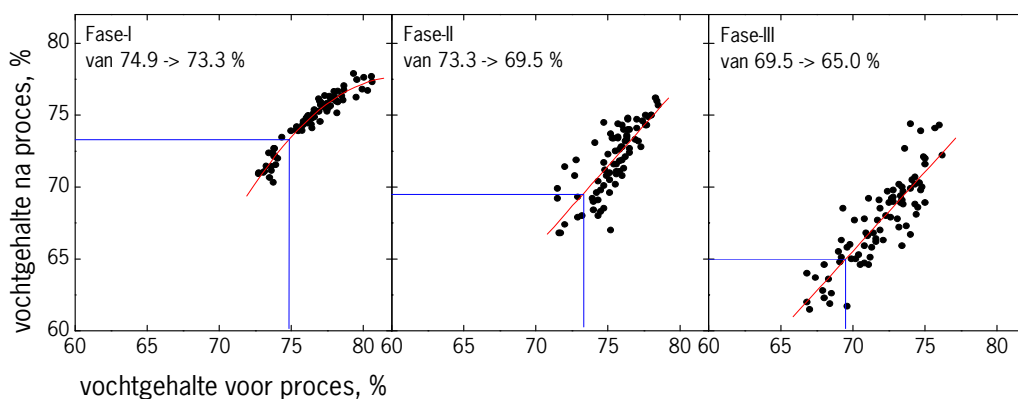
Tabel 8. Berekende waterverliezen per afgebroken kilogram droge stof in Fase-I processen.

vochttoediening	stikstoftoediening		
	geen	0.3% km	0.3% za
	waterverlies, kg/kg droge stof		
geen	6.6	7.3	7.0
3%	7.5	9.1	8.7
	aantal waarnemingen		
geen	21	8	8
3%	19	8	8

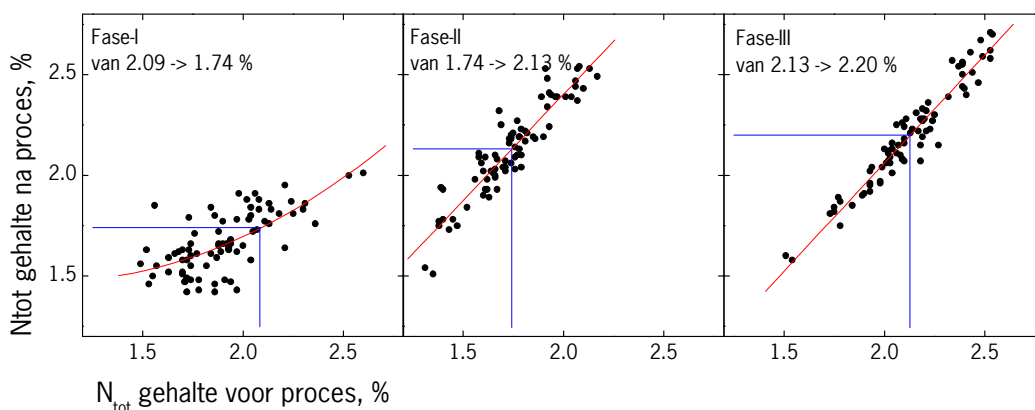
3.2.2 Streefwaarden voor vocht en stikstof

Uit het verloop van de vocht- en stikstofgehalten tijdens de opeenvolgende processtappen van Fasen I, II en III werden streefwaarden afgeleid voor het begin van de verschillende processen (Figuren 2 en 3). Voor de afleiding werd uitgegaan van na Fase-III te bereiken vocht- en N-totaal gehalten van respectievelijk 65 % en 2.2 %.

Figuur 2. Weergegeven is het verloop van de vochtgehalten in de verschillende composteringsfasen. Uitgaande van een gewenst vochtgehalte na Fase-III, op de y-as in de rechter grafiek, kunnen de streefgehalten terug in de tijd worden geïnterpoleerd.



Figuur 3. Weergegeven is het verloop van de stikstofgehalten in de verschillende composteringsfasen. Uitgaande van een gewenst stikstofgehalte na Fase-III kunnen de streefgehalten terug in de tijd worden geïnterpoleerd.



De hoogst bereikte vochtgehalten na Fase-I (Fig. 2, links) zijn hoger dan die bij praktijkbedrijven. Enerzijds was de 'belading' van de proeftunnels met gemiddeld 960 kg/m² aan de lage kant, anderzijds kan het gebruik van stoom ter ondersteuning van de opwarming een rol hebben gespeeld. De gevonden streefwaarden werden verwerkt tot Tabel 9. In de tabel zijn niet alleen de streefwaarden opgenomen die afgeleid werden uit de gezamenlijke gegevens van alle vijf proeven, maar ook de streefwaarden voor de proeven die met 'jonge' en met 'oude' grondstoffen werden uitgevoerd. De bijbehorende figuren, in analogie aan Figuren 2 en 3, zijn weergegeven in Bijlage 4.

Uitgaande van de vaste streefwaarden voor de vocht- en stikstofgehalten van Fase-III compost van 65 en 2.2 %, leken de 'oude' en 'jonge' grondstoffen enigszins verschillend te reageren. De 'oude' grondstoffen mochten blijkbaar een lager vocht- en stikstofgehalte hebben bij de start van Fase-I dan de 'jonge' grondstoffen. Dit komt overeen met waarnemingen op praktijkbedrijven dat de vocht- en stikstofgehalten in het grondstoffenmengsel iets verhoogd moeten worden bij de seizoensovergang om na Fase-III op het gewenste vocht en stikstofgehalte uit te komen. Verdere analyse van de verzamelde data gaf de indruk dat de verschillen niet direct in Fase-I ontstonden maar in Fase-III. In de 'oude' substraten leek dan meer droge stofverlies op te treden. De absolute vochtverliezen in Fase-III in de 'oude' en 'jonge' composten leken gelijk te zijn. In relatieve zin ging daardoor het vochtgehalte meer achteruit in de 'jonge' dan in de 'oude' substraten. Deze trendmatige waarneming was niet duidelijk aan andere factoren gerelateerd en niet eenvoudig verklaarbaar.

Tabel 9. Streefwaarden voor vocht- en stikstofgehalten uit gefitte curven over het verloop van de vocht- en stikstofgehalten in Fasen I, II en III (alle vijf proeven samen en uitgesplitst naar de twee proeven met 'jong' stro en de twee proeven met 'oud' stro).

proeven		mengsel	na fase I	na fase II	na fase III
		vochtgehalten, %			
1 tm 5	allen	74.9	73.3	69.5	65.0
2 en 5	'jong'	75.5	74.2	69.8	
1 en 4	'oud'	73.8	71.9	68.6	
		Ntot gehalte, %			
1 tm 5	allen	2.09	1.74	2.13	2.20
2 en 5	'jong'	2.11	1.78	2.15	
1 en 4	'oud'	1.85	1.68	2.10	

De toedieningen beïnvloedden de samenstelling van de compost. De stikstoftoedieningen voor Fase-I, in de vorm van kuikenmest of zwavelzure ammoniak, hadden verschillende effecten op de samenstelling van de compost na Fase-III. Met kuikenmest was de pH hoger, waren de gehalten van NH₄-N en as lager en waren de gehalten van NDF, ADF en ADL hoger dan met zwavelzure ammoniak (Tabel 10).

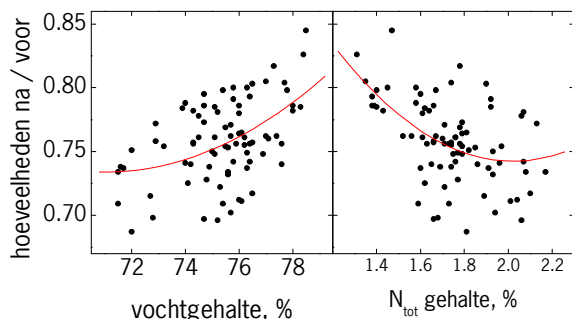
Tabel 10. Effect van de stikstoftoedieningen voor Fase-I op de samenstelling van de compost na Fase-III (kbv: kleinst betrouwbare verschil; de vetgedrukte parameters laten significant verschillende waarden zien tussen de twee typen toedieningen).

parameter	stikstoftoediening voor Fase-I		
	kuiken- mest	zwavelzure ammoniak	kbv
	parameterwaarden na Fase-III		
pH	6.4	5.9	0.1
vocht	67.4	67.2	1.6
NH₄-N	0.05	0.11	0.01
N-totaal	2.26	2.28	0.05
as	28.7	29.4	0.6
NDF	524	515	9
ADF	438	422	10
ADL	163	154	5
opbrengst	384.4	371.0	14.9

3.2.3 Rendementen

Het droge stof rendement in Fase-II was gecorreleerd met zowel het vochtgehalte van de compost voor Fase-II als met het N-totaal gehalte voor Fase-II (Fig. 4). De laagste rendementen rond 0.73 ontstonden bij het relatief lage vochtgehalte van 72 % en het relatief hoge stikstofgehalte van 2.0 %. Het gezamenlijke effect van het vochtgehalte en het stikstofgehalte op het droge stof rendement werd met een multiële regressie geformuleerd als $\text{Rendement}_{\text{DS}} = 0.733 + 0.00098 * (\text{vocht} - 72)^2 + 0.108 * (\text{N-tot} - 2)^2$; $R^2 = 0.35$, $p < 0.0001$. Met deze formule is uit te rekenen dat het rendement bij bijvoorbeeld een vochtgehalte van 77 % en een stikstofgehalte van 1.8 % ongeveer 0.76 is.

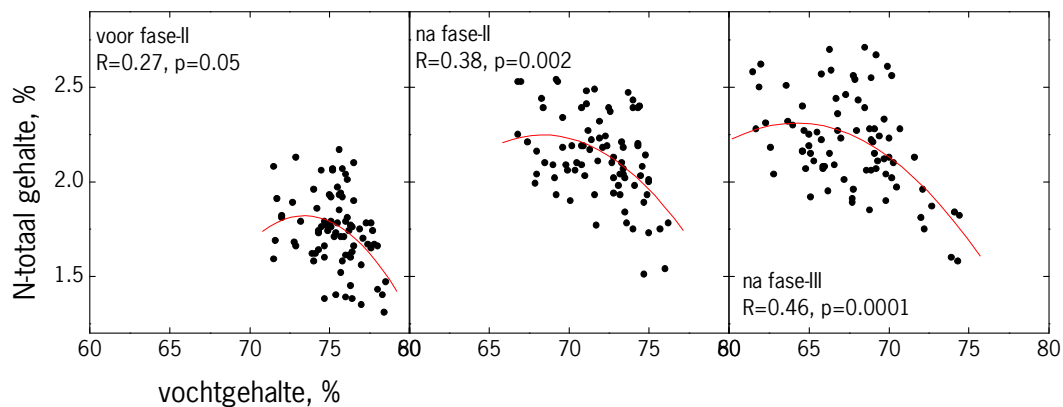
Figuur 4. Weergegeven zijn de relaties tussen het droge stof rendement in Fase-II, uitgedrukt als de hoeveelheid droge stof na het proces gedeeld door de hoeveelheid voor het proces, en het vocht- en het stikstofgehalte (respectievelijk $R^2 = 0.23$, $p < 0.0001$ en $R^2 = 0.27$, $p < 0.0001$).



Tijdens de procesgang werd de relatie tussen het vochtgehalte en het N-totaal gehalte sterker. Na Fase-I had de correlatie coëfficiënt, R , voor de relatie tussen beide gehalten een waarde van 0.27. Na Fase-II was de waarde 0.38 en na Fase-III was hij opgelopen tot 0.46 (Fig. 5). Deze waarnemingen leken een bevestiging van de betrokkenheid van zowel het vochtgehalte als van het stikstofgehalte bij de droge stofafbraak.

De gemiddelde temperaturen in de composten tijdens Fasen I tot en met III worden gegeven in Bijlage 5.

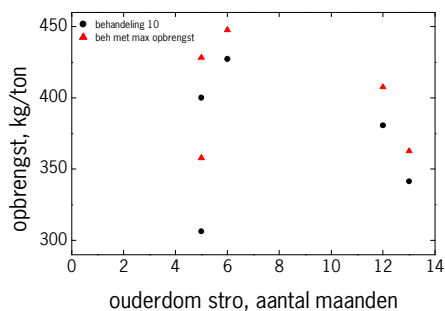
Figuur 5. Ontwikkeling van de sterker wordende relatie tussen het vochtgehalte en het N-totaal gehalte vanaf Fase-I tot en met Fase-III.



3.3 Seizoenseffecten

Er kon geen verband vastgesteld worden tussen het tijdstip in het seizoen waarop het grondstoffenmengsel voor de compost gemaakt was en de opbrengst van champignons (Fig. 6).

Figuur 6. Weergegeven is de opbrengst van champignons in afhankelijkheid van de ouderdom van het stro in het grondstoffenmengsel, uitgedrukt in maanden, met augustus = 0.



De figuur geeft aan dat de opbrengstniveaus op een bepaald moment in het seizoen, zoals in 'maand 5' in twee verschillende jaren, sterk varieerden. In Tabel 11 zijn naast de opbrengsten ook enkele gegevens over de samenstelling van de composten gegeven. De samenstelling van de compost in de verschillende proeven was variabel vanaf de levering van het grondstoffenmengsel.

Tabel 11. Weergegeven zijn champignonopbrengsten en compostkarakteristieken in de vijf uitgevoerde proeven. De proeven zijn gerangschikt op de ouderdom van het stro in het grondstoffenmengsel. Proeven 2 en 5 werden uitgevoerd met 'jonge' en proeven 1 en 4 met 'oude' grondstoffen. Per proef zijn de data van twee behandelingen gegeven; de data van de controle behandeling, nummer 10, zie Tabel 1, en de data van de behandeling die in de desbetreffende proef leidde tot de hoogste opbrengst.

proef substraat behandelingen	2 5 3 1 4					2 5 3 1 4				
	'jong' controles					'jong' maximum opbrengsten				
opbrst, kg/ton	400	306	427	381	342	428	358	448	408	363
	gehalten voor fase I									
vocht	76	74	76	78	73	77	78	76	77	74
N-tot	1.7	1.9	1.9	1.6	1.7	1.9	2.0	2.1	1.8	1.9
NH4-N	0.47	0.68	0.64	0.42	0.54	0.52	0.64	0.68	0.52	0.59
as	18	20	22	21	24	19	21	21	20	23
pH	8.6	8.6	8.5	8.5	8.4	8.6	8.5	8.4	8.5	8.5
	gehalten na fase III									
vocht	65	65	65	74	65	70	65	62	69	68
N-tot	2.1	1.9	2.1	1.8	2.3	2.0	2.2	2.5	2.2	2.4
NH4-N	0.03	0.02	0.03	0.04	0.10	0.02	0.03	0.05	0.06	0.10
as	26	27	29	28	31	27	29	30	29	33
pH	6.4	6.5	6.3	6.8	6.0	6.4	6.6	6.3	6.5	6.0
NDF	537	546	508	593	502	556	510	513	538	483
ADF	433	461	423	489	411	460	452	436	440	391
ADL	148	162	170	170	171	149	179	161	159	163

Omdat er geen verschillen in opbrengst kon worden aangetoond tussen compost geproduceerd van 'jonge' en van 'oude' grondstoffen werd gezocht naar mogelijke andere verschillen tussen dergelijke composten. Zo werd de benadering voor het bepalen van de streefwaarden voor het vocht- en het stikstofgehalte, weergegeven in Figuren 2 en 3 en Tabel 9, toegepast op proeven 2 en 5 samen en op proeven 1 en 4 samen (zie Bijlage 4). Uit de analyses beschreven in paragraaf 3.2.2 werd de aanwijzing verkregen dat 'jonge' grondstoffenmengsels iets gemakkelijker in vochtgehalte achteruitgingen en iets minder stikstof 'inbouwd', met name in Fase-III.

3.4 Extra analyses aan compost

In het onderzoek werd een aantal 'extra' parameters geanalyseerd. Het verloop van de waarden van deze parameters tijdens de procesgang wordt gegeven in Tabel 12.

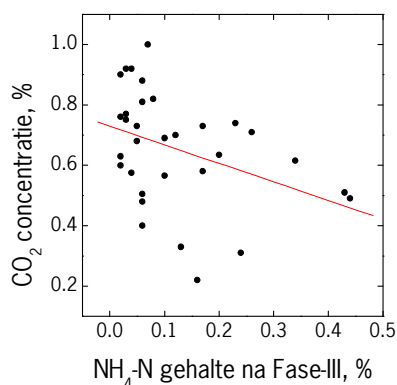
Tabel 12. Het verloop van de 'extra' bepaalde parameters in de procesgang.

	voor Fase-I	na Fase-I	voor Fase-II	na Fase-II	na Fase-III
biomassa, CO ₂ eindconcentratie, %		0.14			0.65
waslaag					
stro-aandeel, % van droge stof	54	53		33	
wasgehalte, g/kg droog stro-aandeel	9.9	8.0		8.7	
vezels; klassiek, BLGG					
NDF, g/kg droge stof	668				525
ADF, g/kg droge stof	447				433
ADL, g/kg droge stof	76				160
vezels; NIR, Walkro					
NDF, % van droge stof		64.9	63.0	48.4	49.0
ADF, % van droge stof		49.4	48.4	38.8	42.4

3.4.1 Biomassa; CO₂ productie

Na Fasen I en III werden monsters compost geïncubeerd waarvan de CO₂ productie werd gemeten. De CO₂ productie van compost na Fase-I lag gemiddeld bijna een factor 5 lager dan de productie van compost na Fase-III (Tabel 12). De productie van compost na Fase-III hing niet samen met een bepaalde behandeling maar hing wel samen met de pH en het NH₄-N gehalte van de compost (Fig. 7). Een hoge pH en een laag NH₄-N gehalte hingen samen met een hoge CO₂ productie; een hoog NH₄-N gehalte hing samen met een lage CO₂ productie. De verklaring van de verbanden was niet meteen duidelijk. Enerzijds kan een nog onvoltooide myceliumingroei de pH van de compost nog niet verlaagd en het NH₄-N gehalte nog niet verhoogd hebben, anderzijds kan een hoog NH₄-N gehalte tot vergiftiging en een lage CO₂ productie leiden.

Figuur 7. Weergegeven wordt de CO₂ productie, als de bereikte CO₂ concentratie in de incubatieopstelling, in afhankelijkheid van het NH₄-N gehalte van compost na Fase-III; R = -0.38, p = 0.03.



3.4.2 Vezelbepalingen

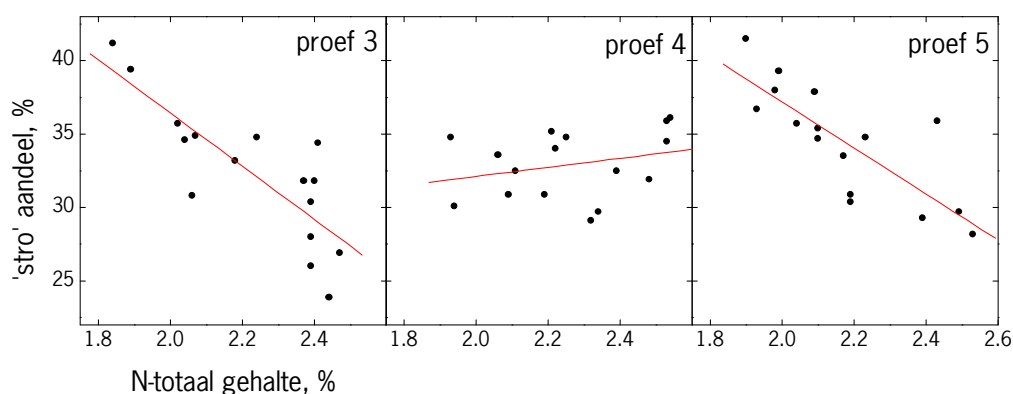
Het verloop van de vezelfracties tijdens de procesgang is weergegeven in Tabel 12. De NDF en ADF gehalten namen af en het ADL gehalte nam toe zoals verwacht kon worden. Van de bepaalde vezelfracties waren het NDF- en ADF gehalte van compost na Fase-III beiden gecorreleerd met de champignonopbrengst (beiden R² = 0.10, p = 0.02; zie Tabel 7 en Fig. 1). De vezelbepalingen werden zowel klassiek, 'natchemisch', als met NIR uitgevoerd. De relatie tussen de waarden verkregen met beide methoden wordt weergegeven in een aantal figuren in Bijlage 6.

3.4.3 Waslaag

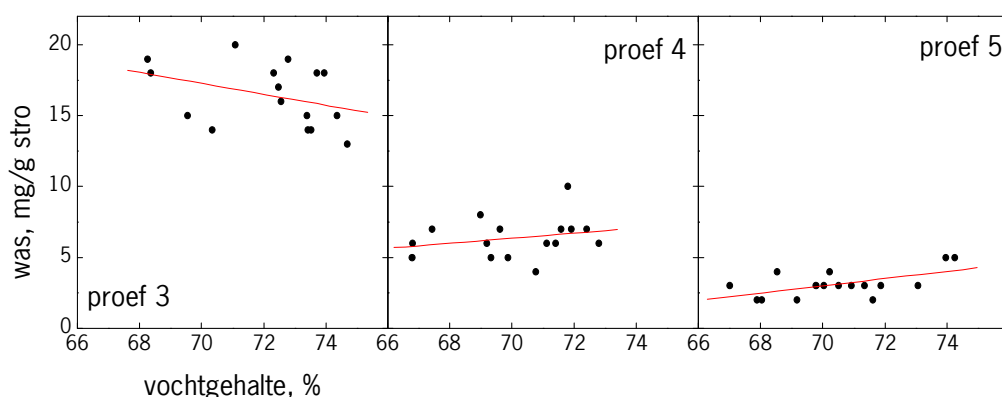
Het aandeel van stro in compost en het gehalte aan was op de strodeeltjes wordt weergegeven in Tabel 12. Het stro aandeel werd tijdens de procesgang minder; het wasgehalte veranderde niet. Er leek een verband te zijn tussen het aandeel stro in compost na Fase-II en de vocht- en stikstoftoedieningen voor Fase-I. Vocht toedienen leek tot een hoger stro aandeel te leiden na Fase-II; stikstof toedienen, onafhankelijk van de vorm waarin, leek tot een lager strogehalte te leiden. De combinatie van de twee wees erop dat 'veel afbraak' (in relatief droge en stikstofrijke compost) leidde tot een verlaging van het stro aandeel. Het N-totaal gehalte in compost na Fase-II was negatief gecorreleerd met het stro aandeel van compost na Fase-II ($R=-0.57$, $p<0.0001$). Uitgesplitst per proef was er geen overtuigend verband (Fig. 8).

De hoeveelheid was op strodeeltjes was positief gecorreleerd met het vochtgehalte van compost als de beschikbare data in gezamenlijkheid bekeken werden ($R=0.36$, $p=0.010$). Uitgesplitst per proef was er geen overtuigend verband (Fig. 9).

Figuur 8. Weergegeven wordt het verband tussen het stroaandeel en het N-totaal gehalte in compost na Fase-II. Als de data van de verschillende proeven gemeenschappelijk werden geanalyseerd was er een negatief verband. Uitgesplitst per proef was het verband niet eenduidig.



Figuur 9. Weergegeven wordt het verband tussen de hoeveelheid was op strodeeltjes en het vochtgehalte van de compost na Fase-II. Als de data van de proeven gemeenschappelijk werden geanalyseerd was er een positief verband. Uitgesplitst per proef was het verband niet eenduidig.



3.5 Kwaliteit champignons

De kwaliteitsachteruitgang van champignons tijdens bewaring was tussen de behandelingen niet significant

verschillend. Er waren alleen significante verschillen tussen de proeven (Tabel 13; alleen metingen uitgevoerd in proeven drie tot en met vijf). De champignons in proef drie, een proef gestart in februari, gingen meer in kwaliteit achteruit tijdens bewaren dan die in proeven vier en vijf.

Tabel 13. Weergegeven is de witheidsindex van champignons direct na het oogsten, na zeven dagen bewaren bij 4 °C en de verandering die in die periode in de witheidsindex optrad.

proef	witheidsindex champignons		verandering
	vers	na 7 dagen	bewaar/vers
3	75.8	54.8	0.72
4	77.5	72.0	0.93
5	72.4	68.2	0.94

Opbrengst, aandeel kwaliteit 1 en aandeel grootte >60 mm waren onderling over de proeven gecorreleerd. De gegevens van de eerste proef namen een iets aparte positie is.

4 Discussie

4.1 Opbrengst en NH₄-N gehalte

De champignonopbrengsten over de vijf uitgevoerde proeven konden het beste verklaard worden met de NH₄-N en NDF gehalten na Fase-III (Fig. 1). NH₄-N gehalten na Fase-III boven 0.09 % (Tabel 7) waren gekoppeld met lage opbrengsten. In een bijeenkomst met de begeleidingscommissie werd opgemerkt dat het verband tussen een hoog NH₄-N gehalte na Fase-III en een lage champignonopbrengst bij de composteerders bekend was, maar dat een opbrengstverlaging pas aan de orde was bij gehalten die hoger waren dan de genoemde drempelwaarde van 0.09 %. De discrepantie moet verklaard worden uit de specifieke omstandigheden in de uitgevoerde proeven, zoals een relatief korte doorgroeitijd met champignonmycelium in Fase-III, het gebruik van het ras U1, en/of de relatief hoge vochtgehalten van de Fase-III composten.

De NH₄-N gehalten na Fase-II waren over het algemeen laag. De NH₄-N die aanwezig was na Fase-III werd voor een deel waarschijnlijk in Fase-III door het groeiend champignonmycelium vrijgemaakt uit een andere vorm van stikstof. Het is bekend dat het champignonmycelium gevoelig is voor NH₄-N. Het vrijmaken van NH₄-N zou tot zelfvergiftiging kunnen leiden. Dit aspect van de champignonteelt is onbekend. Kennis over het eventueel vrijkomen van NH₄-N later in de teelt, bijvoorbeeld bij de uitgroei van de vluchten, als er veel afbraak plaats vindt, is niet aanwezig.

Het effect van de vezelparameters NDF, ADF en ADL op de champignonopbrengst was niet groot. Het kan niet uitgesloten worden dat binnen de grenzen van het huidige teeltsysteem het effect van de stikstofhuishouding op de champignonopbrengst groter is dan die van de koolstofhuishouding, ook al is de laatste kwantitatief van grotere omvang.

De samenstelling van de compost met een toediening van kuikenmest werd anders dan die met een toediening van zwavelzure ammoniak (Tabel 10). Met kuikenmest werd niet alleen stikstof maar ook organische stof toegediend. Op basis van receptuur en gegevens van Gerrits (1987) voor 'synthetische' mengsels, werd geschat dat bij toediening van kuikenmest het aandeel organische stof uit kuikenmest in het totale mengsel toenam van 14 tot 22 %. De betekenis van organische stof uit kuikenmest voor de groei van champignons is onbekend.

4.2 Complexe procesgang

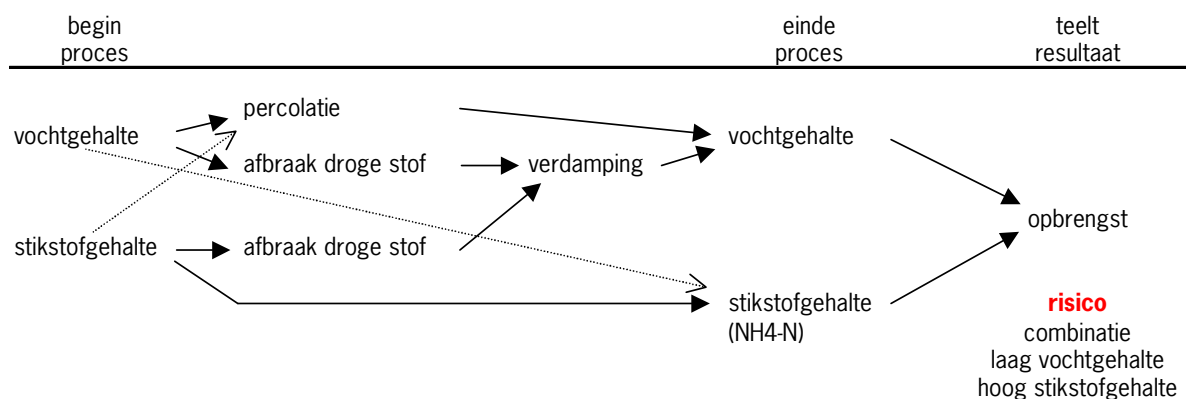
Bij het vochtverlies tijdens de composteringsprocessen bleken meerdere factoren betrokken te zijn. Grote vochttoedieningen aan het grondstoffenmengsel leidden tot percolatie. Analyse van vocht en droge stofverliezen leek er op te wijzen dat er ook percolatie optrad door alleen een stikstoftoediening voor Fase-I. Hiervoor zou het vocht verantwoordelijk kunnen zijn dat aan de stikstofhoudende grondstof werd toegediend ter correctie van het lage vochtgehalte.

Het is bekend dat percolatie niet alleen afhangt van het vochtgehalte van het substraat, maar ook van de druk die op het substraat uitgeoefend wordt (Hameleers *et al.* 1999, hun Fig. 1; silageprocessen). Waarschijnlijk was de percolatie aan de lage kant door het matige vulgewicht in Fase-I van ongeveer 1000 kg/m² tunneloppervlak. Op praktijkbedrijven zal door het hogere vulgewicht waarschijnlijk meer percolatie optreden en het maximum vochtgehalte na Fase-I lager worden. Effecten van het gebruik van stoom in de proeven, ter ondersteuning van de opwarming in Fase-I, konden niet worden uitgesloten.

Zowel het vocht- als het N-totaal gehalte hadden invloed op het droge stof verlies en het droge stof rendement in Fase-II (Fig. 4). Wellicht dat in beide verbanden de oorzaak te vinden is voor het sterker wordende onderlinge verband tussen beide gehalten vanaf Fase-I tot aan Fase-III (Fig. 5).

Microbiologische afbraak is verantwoordelijk voor het droge stof verlies. Aan de afbraak is warmteproductie gekoppeld. De geproduceerde warmte zal leiden tot het verdampen van water. De factoren die betrokken zijn bij verliezen zijn weergegeven in Fig. 10.

Figuur 10. Schematische weergave van het complexe verband dat bestaat tussen de vocht- en stikstofgehalten aan het begin en aan het eind van de composteringprocessen.



4.3 Seizoenseffecten

Duidelijke seizoenseffecten op de champignonopbrengst of op andere parameters konden niet worden vastgesteld (Figuur 6, Tabel 11). De mogelijke effecten waren kleiner dan andere effecten, zoals die van de variatie in de samenstelling van het grondstoffenmengsel. Bij het opstellen van de streefwaarden voor de vocht- en stikstofgehalten voorafgaand aan Fasen I tot en met III (Fig. 2 en 3, Tabel 9) werd uitgesplitst naar proeven met 'jonge' en 'oude' grondstoffen (Bijlage 4, Tabel 9). Er werd een aanwijzing verkregen dat 'jonge' grondstoffenmengsels iets gemakkelijker in vochtgehalte achteruitgingen en iets minder stikstof 'inbouwden' dan 'oude' grondstoffenmengsels, met name in Fase-III.

5 Conclusies

Uit het onderzoek kwam het volgende naar voren:

- De champignonopbrengst werd beïnvloed door de vocht- en stikstoftoedieningen. De vochttoediening ter verhoging van het vochtgehalte voor Fase-I, gerealiseerd werd een verhoging van gemiddeld 75.6 tot 77.7 %, leidde tot een relatief lage opbrengst, relatief veel percolatie bij de start van Fase-I en tot een achteruitgang van het N-totaal gehalte na Fase-III met bijna 0.2 %, van gemiddeld 2.02 naar 1.84 % (Tabel 6).
- De champignonopbrengsten over de vijf uitgevoerde proeven werden het beste verklaard met de $\text{NH}_4\text{-N}$ en NDF gehalten na Fase-III (Fig. 1, Tabel 7).
- $\text{NH}_4\text{-N}$ gehalten na Fase-III groter dan 0.1 % hadden een negatief effect op de opbrengst. N.B., het genoemde gehalte heeft betrekking op de proefopstandigheden, zoals een korte doorgroeiperiode, het gebruik van het ras U1 en het gebruik van composten met relatief hoge vochtgehalten.
- Een 'harde aanpak' van de grondstoffen met een relatief flinke verhoging van het stikstofgehalte leidde niet tot opbrengstverbeteringen. Integendeel, vooral bij een laag vochtgehalte was een flinke toevoeging risicovol en ontstonden hoge $\text{NH}_4\text{-N}$ gehalten na Fase-III.
- Een hoog $\text{NH}_4\text{-N}$ gehalte in Fase-III compost had niet alleen een negatief effect op de champignonopbrengst maar had dat ook op de CO_2 productie door de aanwezige biomassa in Fase-III monsters (Fig. 7).
- Droge stof afbraak en vochtverlies kwamen op een complexe manier tot stand. Percolatie en het stikstofgehalte speelden onder andere een rol. Door de complexiteit (Fig. 10) zijn vuistregels voor verliezen niet voldoende. Om verliezen te kunnen voorspellen en te sturen zijn rekenregels nodig.
- Er werden richtwaarden opgesteld voor het vocht- en stikstofgehalte voorafgaand aan Fasen I tot en met III waarmee, onder de gerealiseerde proefomstandigheden, uitgekomen werd op een vochtgehalte van 65 % en een stikstofgehalten van 2.2 % na Fase-III (Fig. 2 en 3, Tabel 9).
- Duidelijke seizoenseffecten op de champignonopbrengst konden niet worden vastgesteld (Fig. 6, Tabel 11). Er werd een aanwijzing verkregen dat 'jonge' grondstoffenmengsels iets gemakkelijker in vochtgehalte achteruitgingen en iets minder stikstof 'inbouwden' dan 'oude' grondstoffenmengsels, met name in Fase-III.

6 Suggesties voor verder onderzoek

Om tot toepassing van de onderzoeksresultaten te komen op de individuele compostbedrijven is vertaling van deze resultaten nodig naar de bedrijfsspecifieke omstandigheden. Meer kennis over het optreden van percolatie in Fase-I en van $\text{NH}_4\text{-N}$ vorming in Fase-III en later is gewenst juist om beide processen controleerbaar te maken.

Streefwaarden en Rekenregels

- Voor de individuele compostbedrijven kunnen bedrijfsspecifieke streefwaarden worden opgesteld voor de vocht- en N-totaal gehalten in de substraten voorafgaand aan de verschillende processen, Fasen I tot en met III. De compostbedrijven passen verschillende grondstoffen, recepten en processen toe. Voor het opstellen van de streefwaarden is het nodig om per bedrijf relevante gegevens te verzamelen en te onderzoeken.
- De opgestelde streefwaarden en beschikbare proceskennis kunnen worden uitgewerkt tot rekenregels waarmee de composteringsprocessen beter gecontroleerd en gestuurd kunnen worden.

Percolatie

Percolatie heeft een oncontroleerbaar effect op de samenstelling van de compost en is om die reden eigenlijk ongewenst. Om percolatie te vermijden moet anders met de vochtuishouding van de compost worden omgegaan. Er zijn beter controleerbare alternatieven nodig voor de toediening van al het vocht vóór Fase-I en/of veranderingen in de procesgang die het vochtverlies beperkt houden.

$\text{NH}_4\text{-N}$ gehalte na Fase-III

Het ontstaan van $\text{NH}_4\text{-N}$ tijdens Fase-III door de activiteit van het champignonmycelium is risicovol. Verder onderzoek naar het ontstaan van $\text{NH}_4\text{-N}$ in Fase-III en later in de teelt kan leiden tot het opstellen van receptuurregels voor compost met betrekking tot het gebruik van stikstofhoudende grondstoffen.

Literatuur

- Gerrits JPG. 1987. Voeding en Compost. In De teelt van champignons (ed LJLD Van Griensven), pp 29-73. CNC, Milsbeek.
- Gerrits JPG & Amsing JGM. 1997. Ammoniumsulfaat als aanvullende stikstofbron in indoor compost bij gebruik van water uit luchtwassers. *De Champignoncultuur* 41, 243-251.
- Gerrits JPG. 1998. Ammoniumsulfaat en bijvoeden bijten elkaar niet. *Groenten + Fruit / Paddestoelen*, week 10, 3 april, 30-31.
- Hameleers A, Leach KA, Offer NW & Roberts DJ. 1999. The effects of incorporating sugar beet pulp with forage maize at ensiling on silage fermentation and effluent output using drum silos. *Grass and Forage Science* 54, 322-335.
- Loffler HJM & Schippers B. 1985. Inhibition of chlamyospore production in *Fusarium oxysporum* by ammonia and high ion concentrations. *Canadian Journal of Microbiology* 31, 508-512.
- Ni XZ, Quisenberry SS, Siegfried BD & Lee KW. 1998. Influence of cereal leaf epicuticular wax on *Diuraphis noxia* probing behavior and nymphoposition. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 89, 111-118.
- Sokal RR & Rohlf FJ. 1995. *Biometry*. 3rd edition. Freeman, New York.
- Straatsma G, Gerrits JPG, Thissen JTNM, Amsing JGM, Loeffen H & Van Griensven LJLD. 2000. Adjustment of the composting process for mushroom cultivation based on initial substrate composition. *Bioresource Technology* 72, 67-74
- Sun RC & Sun XF. 2001. Identification and quantitation of lipophilic extractives from wheat straw. *Industrial Crops and Products* 14, 51-64.
- Tenuta M & Lazarovits G. 2002. Ammonia and nitrous acid from nitrogenous amendments kill the microsclerotia of *Verticillium dahliae*. *Phytopathology* 92, 255-264.
- Theander O & Westerlund E. 1993. Quantitative analysis of cell wall components. in *Forage cell wall structure and digestibility* (ed HG Jung, DR Buxton, RD Hatfield & J Ralph), pp 83-104.

Bijlage 1.

Vezelanalyse

<http://allserv.ugent.be/~gjans/lessen/cursus%20ADV%202003-2004%20-%20koolhydraten.pdf>
(tekst enigszins bewerkt)

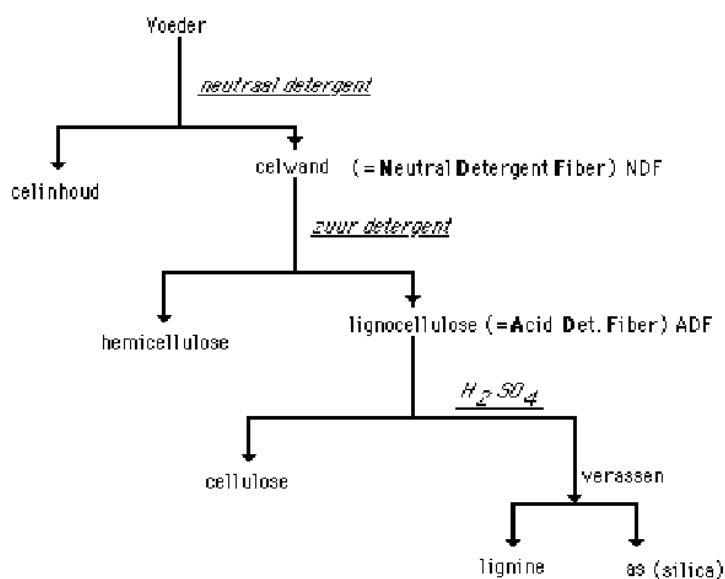
ruwe celstof; Weende analyse

Bij routineanalyse worden KHD (koolhydraten) ingedeeld in 2 groepen: de ruwe celstoffractie en de overige koolhydratenfractie. Zij vormen samen de totale koolhydratenfractie en deze is kwantatief gelijk aan 100% vocht - % vet - % r.eiwit - % mineralen. De opsplitsing gebeurt door een chemische methode die reeds meer dan 100 jaar door HENNEBERG in Duitsland is ontwikkeld en bekend staat als de WEENDE-analyse naar de plaatsnaam van het onderzoekcentrum. Deze opsplitsing is gebaseerd op een chemische analyse in 2 fasen: eerst wordt het voeder gekookt in verdund H_2SO_4 , waarin de eiwitten, de mineralen en de in zuur oplosbare koolhydraten (de zgn. overige KHD) oplossen. Als residu blijft over het vet, en de in zuur onoplosbare mineralen (SiO_2) en koolhydraten (de zgn. ruwe celstof). In de tweede fase wordt het residu gekookt in basisch milieu en worden de vetten verzeept en gaan in oplossing. Het residu wordt nu verast, waarbij de ruwecelstoffractie wordt verbrand, zodat nog enkel het SiO_2 overblijft. Het gewichtsverschil voor en na verassen wordt beschouwd als de ruwe celstof.

NDF, ADF

In de loop der jaren is gezocht naar betere correlaties tussen verteerbaarheden (en voederwaarden) en chemische parameters. Een methode die pogt deze betere relatie te geven is de VAN SOEST-methode. Zij is gebaseerd op de opsplitsing van de droge stof in celwand en celinhoud. Door een neutraal detergent wordt de totaal verteerbare celinhoud gescheiden van de celwandbestanddelen die voor niet herkauwers weinig of niet verteerbaar zijn (=Neutral Detergent Fiber). De celwandfractie wordt vervolgens aangetast door een zuur detergent, waarbij de hemicellulose in oplossing gaat en zuivere lignocellulose overblijft (=Acid Detergent Fiber).

Door inwerking van geconcentreerd H_2SO_4 gaat de cellulose in oplossing en blijft lignine en de as als residu over. Na verassen kan de lignine (ADL = Acid Detergent Lignin) door verschil bepaald worden. De NDF fractie is steeds groter dan de ruwe celstoffractie, vermits bij NDF geen gedeelten van cellulose, hemicellulose en lignine in oplossing gaan.



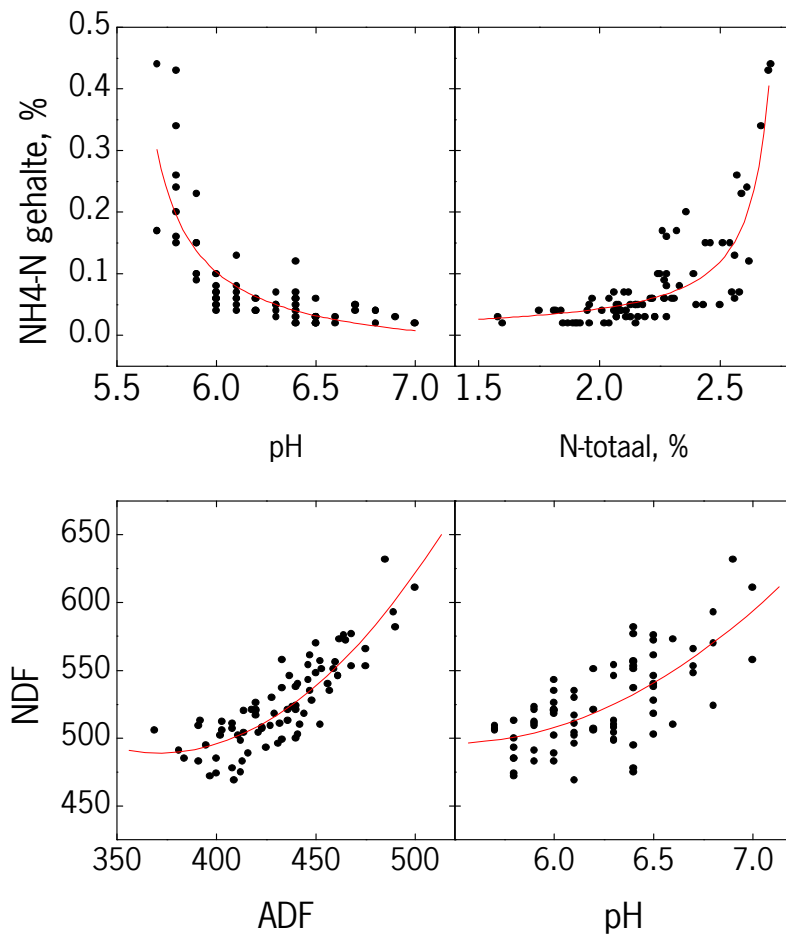
Bijlage 2.

Effecten van behandelingen op parameterwaarden na Fase-III. Getallen in vet zijn gemiddelden over tenminste vier proeven. Deze tabel vult Tabellen 2 en 6 in de tekst aan.

vochttoediening		stikstoftoediening								totaal	
fase-I	fase-II	fase-I	geen	geen	geen	geen	0.3% km	0.3% za	0.6% km		0.6% za
		fase-II	geen	0.1% za	0.2% km	0.2% za	geen	geen	geen		geen
pH											
geen	geen		6.4	6.3	7.0	6.1	6.4	5.8	6.4	5.8	6.3
geen	1%		6.5	6.2	6.8	6.1	6.3	5.9	6.1	5.7	6.2
3%	geen		6.5	6.1		5.8	6.5	6.0	6.4	5.9	6.2
3%	1%		6.4	6.2	6.1	5.8	6.5	6.0	6.4	5.8	6.2
totaal			6.4	6.2	6.6	6.0	6.4	5.9	6.3	5.8	6.2
vocht											
geen	geen		67	65	63	63	65	65	62	66	65
geen	1%		70	68	68	65	69	68	68	69	68
3%	geen		69	68		66	67	68	62	66	68
3%	1%		72	70	70	69	69	68	70	70	70
totaal			69	68	67	66	67	67	65	68	68
NH4-N											
geen	geen		0.04	0.06	0.02	0.05	0.05	0.13	0.12	0.43	0.08
geen	1%		0.03	0.05	0.02	0.05	0.07	0.12	0.13	0.44	0.09
3%	geen		0.03	0.08		0.26	0.04	0.09	0.07	0.23	0.08
3%	1%		0.03	0.07	0.08	0.34	0.04	0.10	0.06	0.24	0.08
totaal			0.03	0.06	0.04	0.18	0.05	0.11	0.10	0.34	0.08
N-tot											
geen	geen		2.0	2.2	2.0	2.2	2.3	2.3	2.6	2.7	2.2
geen	1%		2.0	2.1	1.9	2.2	2.3	2.2	2.6	2.7	2.2
3%	geen		1.8	2.1		2.6	2.2	2.3	2.6	2.6	2.2
3%	1%		1.8	2.0	2.3	2.7	2.3	2.3	2.6	2.6	2.2
totaal			1.9	2.1	2.1	2.4	2.3	2.3	2.6	2.7	2.2
as											
geen	geen		28	29	26	28	29	30	31	31	29
geen	1%		28	30	26	28	29	30	33	32	29
3%	geen		27	29		34	28	29	29	31	29
3%	1%		27	29	32	32	28	28	30	31	29
totaal			28	29	28	30	29	29	31	31	29
NDF, g/kg droge stof											
geen	geen		537	520	558	511	528	508	495	485	522
geen	1%		550	520	570	517	524	513	469	509	524
3%	geen		566	540		485	520	514	475	511	528
3%	1%		569	534	502	474	523	523	478	493	527
totaal			554	528	543	497	524	515	479	500	525
ADF, g/kg droge stof											
geen	geen		443	441	433	408	441	408	395	384	428
geen	1%		455	433	450	420	427	421	409	391	430
3%	geen		460	438		400	442	435	412	432	439
3%	1%		457	438	402	400	441	427	408	425	434
totaal			453	438	428	407	438	422	406	408	433
ADL, g/kg droge stof											
geen	geen		164	168	160	157	163	153	166	153	161
geen	1%		165	159	163	162	157	152	165	155	159
3%	geen		153	152		181	166	163	182	187	162
3%	1%		147	158	167	167	167	149	175	178	159
totaal			158	159	163	167	163	154	172	168	160
aantal waarnemingen											
geen	geen		5	4	1	1	4	4	1	1	21
geen	1%		4	4	1	1	4	4	1	1	20
3%	geen		4	4		1	4	4	1	1	19
3%	1%		4	4	1	1	4	4	1	1	20
totaal			17	16	3	4	16	16	4	4	80

Bijlage 3.

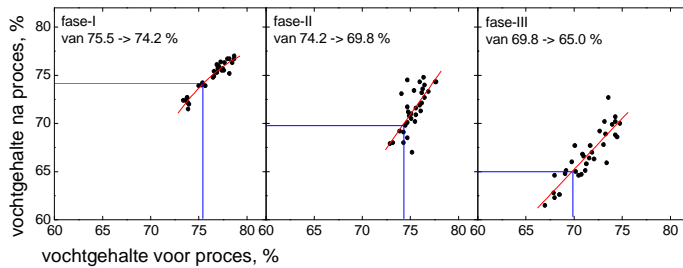
Weergave van de onderlinge afhankelijkheid van de parameters die betrokken zijn bij de verklaring van de champignonopbrengsten (parameterwaarden na Fase-III; zie ook Fig. 1, Tabel 7).



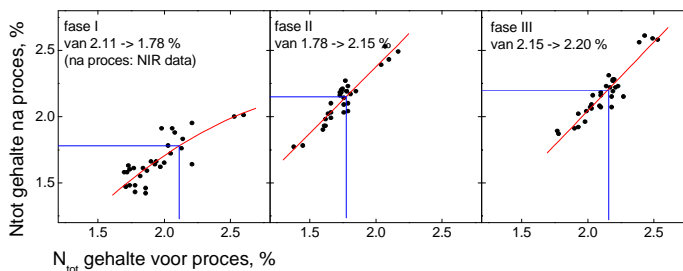
Bijlage 4.

Weergave van het verloop van de vocht- en stikstofgehalten in de verschillende composteringsfasen uitgesplitst naar respectievelijk proeven 2 en 5 met 'jonge' grondstoffen en proeven 1 en 4 met 'oude' grondstoffen. Interpolaties van streefgehalten zijn aangegeven (zie ook Figuren 2 en 3 en Tabel 9).

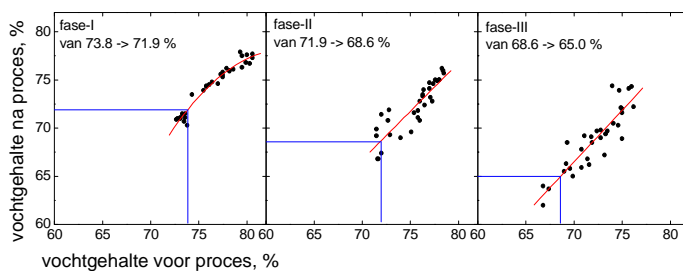
proeven 2 en 5 met 'jonge' grondstoffen



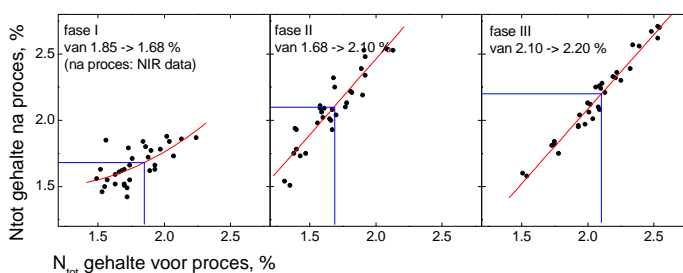
proeven 2 en 5 met 'jonge' grondstoffen



proeven 1 en 4 met 'oude' grondstoffen



proeven 1 en 4 met 'oude' grondstoffen



Bijlage 5.

Effecten van behandelingen op de gemiddelde temperaturen in de composten in Fasen I tot en met III. Getallen in vet zijn gemiddelden over tenminste vier proeven.

vochttoediening		stikstoftoediening								totaal	
fase-I	fase-II	fase-I	geen	geen	geen	geen	0.3% km	0.3% za	0.6% km		0.6% za
		fase-II	geen	0.1% za	0.2% km	0.2% za	geen	geen	geen		geen
		T, Fase-I									
geen	geen		79	79	79	78	81	79	78	80	79
geen	1%		78	79	78	79	79	79	78	78	79
3%	geen		79	78		79	78	79	82	79	79
3%	1%		78	79	78	79	79	78	79	79	79
totaal			79	79	79	79	79	79	79	79	79
		T, Fase-II									
geen	geen		48	50			50	47	50	51	49
geen	1%		47	49			50	50	51	47	49
3%	geen		46	48		49	48	50			48
3%	1%		45	49	48	50	51	48			48
totaal			47	49	48	49	50	49	50	49	49
		T, Fase-III									
geen	geen		26	27			31	26	24	27	27
geen	1%		26	26			26	26	27	26	26
3%	geen		25	26		26	24	26			25
3%	1%		25	26	28	25	24	26			25
totaal			25	26	28	25	26	26	26	26	26

Bijlage 6.

Relaties tussen klassiek (nat-chemisch) bepaalde waarden en met NIR bepaalde waarden voor een aantal parameters. Nat-chemische analyses uitgevoerd door PPO en NIR analyses door Walkro.

Fig. A. Parameterwaarden aan het begin van Fase-I. NIR waarden op de y-as; klassiek bepaalde waarden op de x-as.

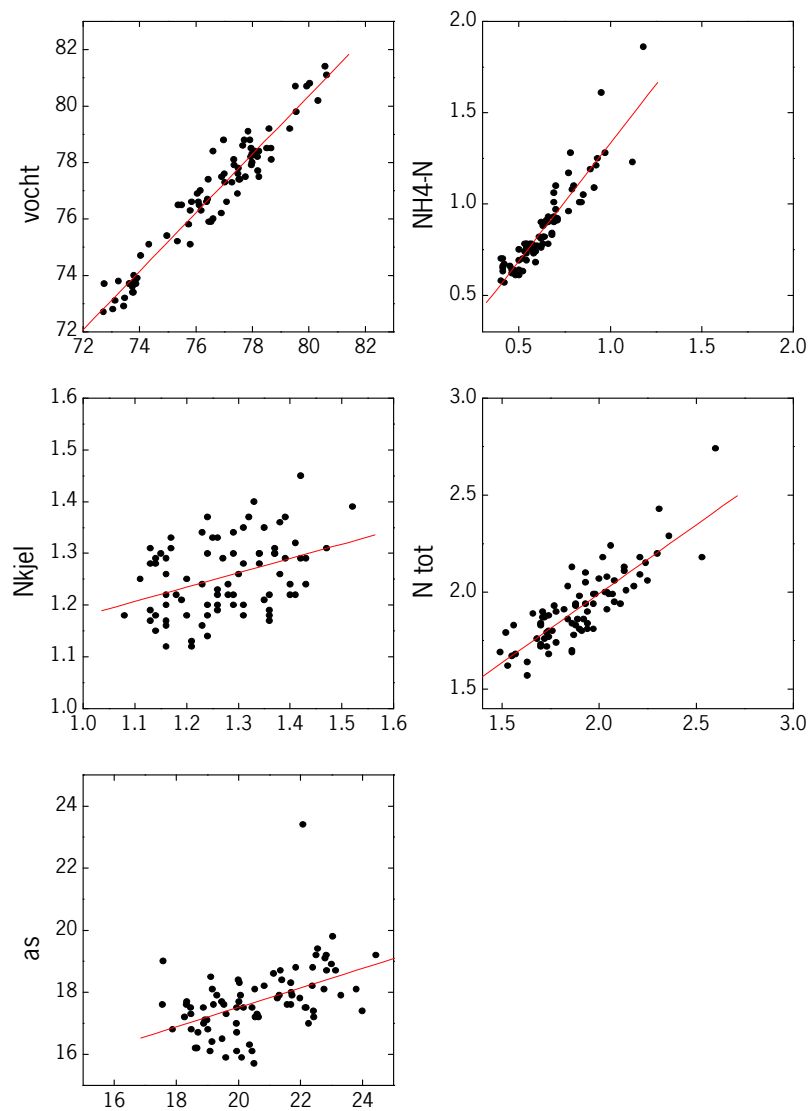


Fig. B. Parameterwaarden aan het begin van Fase-II. NIR waarden op de y-as; klassiek bepaalde waarden op de x-as.

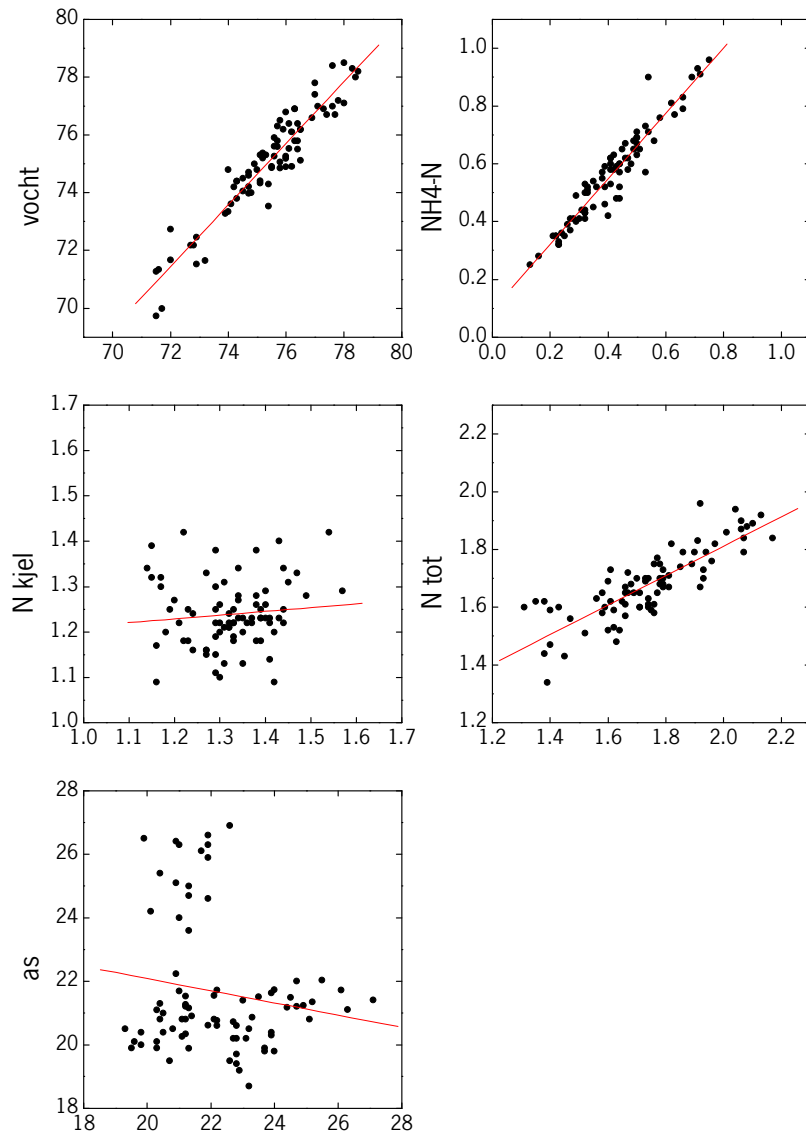


Fig. C. Parameterwaarden aan het begin van Fase-III. NIR waarden op de y-as; klassiek bepaalde waarden op de x-as.

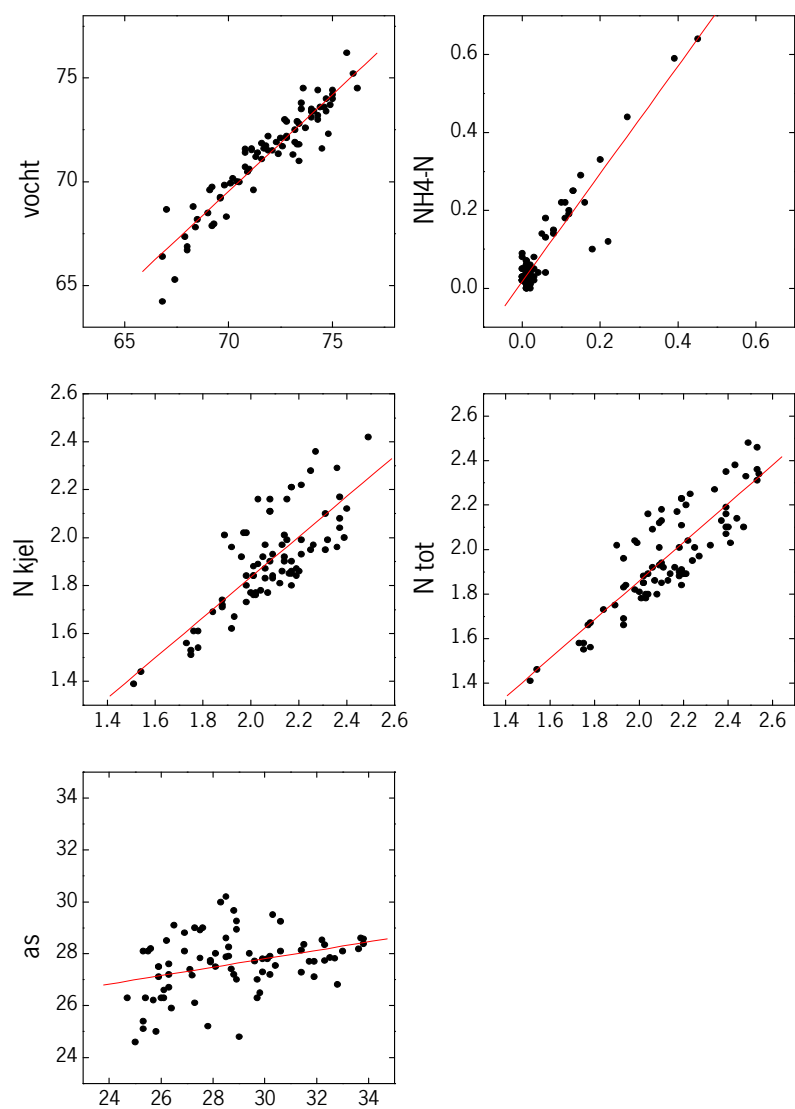


Fig. D1. Parameterwaarden na Fase-III. NIR waarden op de y-as; klassiek bepaalde waarden op de x-as.

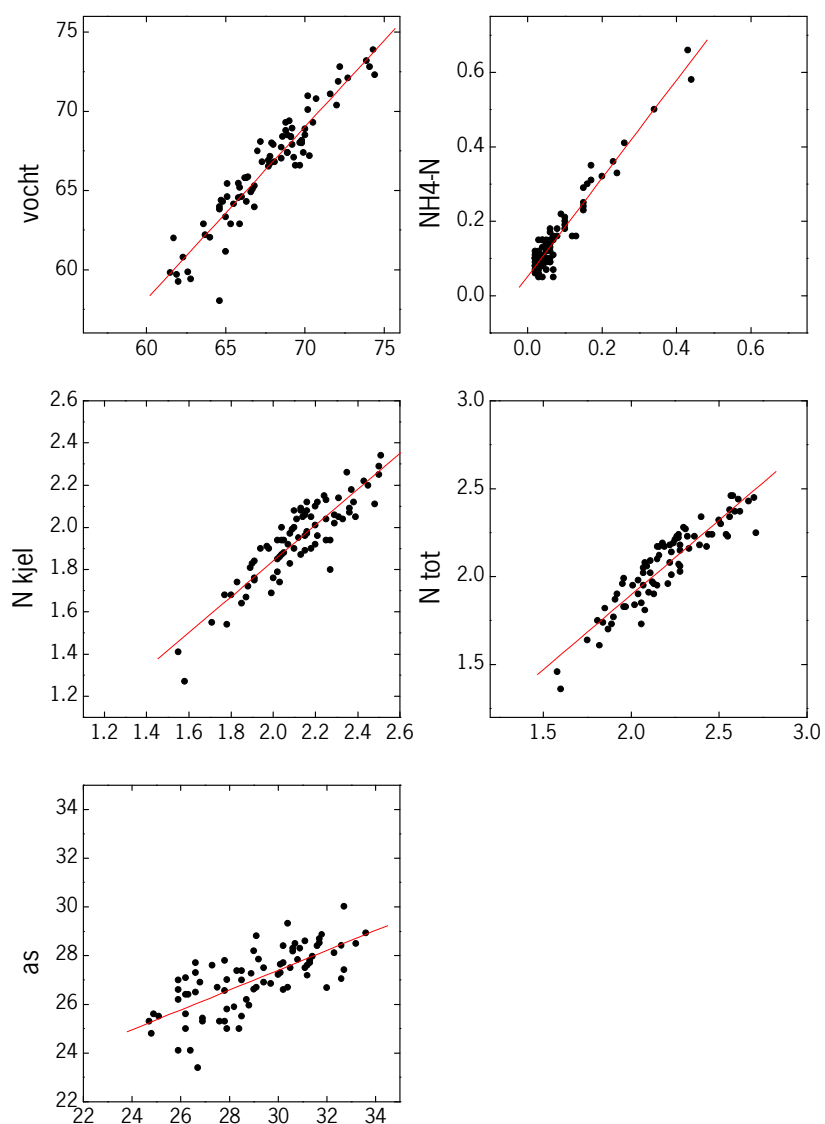


Fig. D2. Parameterwaarden voor Fase-III; vezels. NIR waarden op de y-as, % van droge stof; klassiek bepaalde waarden op de x-as, g/kg droge stof.

