



PraktijkRapport Rundvee 68

Emissies en compostkwaliteit bij compostering van runderdrijfmest



Februari 2005

Rundvee





Colofon

Uitgever

Animal Sciences Group / Praktijkonderzoek
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 – 238 238
Fax 0320 – 238 050
E-mail info.po.asg@wur.nl
Internet <http://www.asg.wur.nl/po>

Redactie en fotografie

Praktijkonderzoek

© Animal Sciences Group

Het is verboden zonder schriftelijke toestemming van de uitgever deze uitgave of delen van deze uitgave te kopiëren, te vermenigvuldigen, digitaal om te zetten of op een andere wijze beschikbaar te stellen.

Aansprakelijkheid

Animal Sciences Group aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen

Bestellen

ISSN 1570-8616
Eerste druk 2005
Prijs € 17,50

Losse nummers zijn schriftelijk, telefonisch, per E-mail of via de website te bestellen bij de uitgever.

Referaat

Het toedienen van compost van gras en drijfmest kan bijdragen aan een beter organisch stofgehalte in de bodem. Tijdens compostering kunnen echter verliezen van mineralen optreden. In deze rapportage worden balansmetingen beschreven tijdens compostering van twee mestsoorten met natuurgras. Daarnaast is de compostkwaliteit bepaald. Stikstofverlies bedroeg een kwart van de aangevoerde stikstof en kwaliteit van onvoldoende om van compost te kunnen spreken. Ook op bedrijfsniveau is het stikstofverlies groter dan in de situatie zonder compostering. Aangeraden wordt om niet op deze manier de aanwezige drijfmest te composteren.

ISSN 1570-8616

Dooren, H.J.C. van, M.C. Hanegraaf, K. Blanken
Emissies en compostkwaliteit bij compostering van runderdrijfmest (2005)
PraktijkRapport Rundvee 68

Trefwoorden:

Runderdrijfmest, natuurgras, composteren, emissiemetingen, ammoniak, broeikassen, compostkwaliteit



ANIMAL SCIENCES GROUP
WAGENINGEN UR



PraktijkRapport Rundvee 68

Emissies en compostkwaliteit bij compostering van runderdrijfmest

Emission and compost quality of on farm composted dairy slurry

H.J.C. van Dooren
M.C. Hanegraaf (NMI)
K. Blanken

Februari 2005

Voorwoord

Het onderzoek dat in dit rapport beschreven wordt maakte onderdeel uit van het project “Compostering van dunne mest op melkveebedrijven” dat in opdracht van Productschap Zuivel (PZ) en de stuurgroep Landbouw Innovatie Noord-Brabant LIB is uitgevoerd door de divisie Praktijkonderzoek van de Animal Sciences Group van Wageningen-UR (P-ASG) en het Nutriënten Management Instituut (NMI). Het onderzoek is uitgevoerd op het bedrijf van Mts. Bouwmans in Bakel. Henri Bouwmans en Gerard Rooijens bedanken we hartelijk voor de genoten gastrijheid en de assistentie bij de uitvoering van het onderzoek.



Samenvatting

Tijdens het composteren van elk materiaal treden massa- en mineralenverliezen op. Daarom is in het project 'compostering op melkveebedrijven' een onderdeel opgenomen waarin deze verliezen bepaald worden. In dit rapport worden de resultaten van dit onderdeel gepresenteerd. Daarnaast wordt aan aandacht besteed aan de kwaliteit van de compost. Doel van het onderzoek is

1. het opstellen van een massa- en mineralenbalans en
2. het bepalen van de kwaliteit van het eindproduct, de compost.

Vraagstelling voor het onderdeel balansmetingen is: wat is het mineralenverlies tijdens de vorming van compost? Deze vraag is van belang omdat mogelijke vermindering van mineralenverliezen tijdens en na de toediening van compost niet afgewenteld mag worden op de vorming van deze compost.

Doel van het bepalen van de compostkwaliteit is inzicht te krijgen in de landbouwkundige effecten en mogelijke milieukundige gevolgen van het gebruik van deze compost. Daartoe worden de volgende drie vragen beantwoord:

- a) Wat is het zware metalengehalte van de compost en hoe groot is de relatieve bijdrage van de mest en de overige te composteren materialen aan het zware metalengehalte van de compost?
- b) Wat is de kiemkracht van eventuele onkruidzaden in de compost?
- c) Wat is het organische stofgehalte en het stikstofgehalte van de compost en welke bijdrage mag hiervan worden verwacht aan de organische stofopbouw en stikstofmineralisatie bij landbouwkundige toepassing?

De balansmetingen zijn uitgevoerd op het bedrijf van Mts. Bouwmans in Bakel. Daar zijn in vier ronden twee soorten mest gecomposteerd op de manier zoals gebruikelijk is bij het Mts. Bouwmans. In ronde B1 en B2 runderdrijfmest van Bouwmans waar FIR aan is toegevoegd en in ronde C1 en C2 gangbare runderdrijfmest van het praktijkcentrum Cranendonck. De compostering vond plaats in een speciaal daarvoor geschikt gemaakte kapschuur. In deze ruimte is mechanische ventilatie aangebracht. Als aangenomen wordt dat alle lucht de kapschuur via deze ventilator verlaat, is door debiet- en concentratiemeting de emissie van verschillende stoffen vast te stellen. Alle materialen die aan- en afgevoerd werden zijn gewogen en bemonsterd. Voor de aanvoer gaat het hierbij om hooi, stro, startermix en drijfmest. Voor de afvoer gaat het naast de emissies om compost en lekvocht. De gewichten zijn bepaald op een weegbrug. De geuremissie is niet continue vastgesteld maar bepaald op twee momenten, resp. 3 en 24 dagen na de start van elke ronde, door het nemen van een luchtmonster uit de ventilatiekamer. Daarnaast zijn in de composthoop op twee niveau's temperatuursensoren aangebracht: onder in de hoop en boven in de hoop. Ook de omgevingstemperatuur is geregistreerd. Tenslotte is het verschil in luchtdruk tussen binnen en buiten vastgelegd. Dit om enigszins zicht te hebben op de luchtverliezen via een andere manier dan de ventilatiekamer.

De massabalansen van de 4 composteringsronden zijn weergegeven in Tabel I.

Tabel I: Massabalans per ronde kg

	Ronde	Totaal	DS	Asrest	OS	N-Min	N-Org	N-totaal	Fosfaat	Kalium
Aanvoer	B1	6986	1430,6	209,0	1222,1	9,4	18,3	27,7	10,6	43,1
	C1	7493	1665,9	288,0	1377,9	12,0	25,0	36,9	14,2	52,0
	B2	6920	1168,6	217,0	951,9	7,9	20,1	28,0	11,3	38,8
	C2	7818	1453,0	184,6	1268,7	9,9	24,4	34,2	12,3	36,6
Afvoer	B1	4510	855,4	254,8	599,6	0,9	21,3	22,1	10,2	37,0
	C1	4830	1050,5	351,1	700,0	1,4	26,1	27,6	14,0	44,4
	B2	4560	902,2	297,2	604,0	0,9	21,0	21,9	11,9	34,8
	C2	5210	888,7	201,6	686,6	1,1	25,1	26,1	12,0	32,1
Verlies	B1	2476	575,2	-45,8	622,5	8,5	-3,0	5,6	0,4	6,1
	C1	2663	615,4	-63,1	677,9	10,5	-1,1	9,3	0,2	7,6
	B2	2360	266,4	-80,2	347,9	7,0	-0,9	6,1	-0,6	4,0
	C2	2680	564,2	-17,0	582,1	8,8	-0,6	8,1	0,2	4,5
Verlies-%	B1	35,4%	40,2%	-21,9%	50,9%	90,4%	-16,4%	20,3%	3,8%	14,1%
	C1	35,5%	36,9%	-21,9%	49,2%	88,1%	-4,4%	25,3%	1,5%	14,6%
	B2	34,1%	22,8%	-36,9%	36,6%	89,1%	-4,3%	21,7%	-5,3%	10,4%
	C2	33,4%	38,8%	-9,2%	45,9%	89,0%	-2,5%	23,6%	1,7%	12,2%

Het massaverlies voor compost ligt rond de 35%. Een ander belangrijk punt tijdens composteren is het verlies van mineralen, met name stikstof. Tabel II geeft een overzicht van de koolstof- en stikstofbalans.

Tabel II: Koolstof- en stikstofbalans (kg)

	Ronde B1		Ronde C1		Ronde B2		Ronde C2	
	C	N	C	N	C	N	C	N
Totaal aanvoer	611,0	27,7	689,0	36,9	476,0	28,0	634,4	34,2
Totaal afvoer	299,8	22,1	350,0	27,6	302,0	22,0	343,3	26,1
Verlies	311,3	5,7	338,9	9,3	174,0	6,1	291,1	8,1
Emissies:								
- C in CO ₂	107,1		113,6		110,7		119,9	
- C in CH ₄	4,9		5,9		6,0		11,4	
- N in NH ₃		2,3		3,2		2,2		2,1
- N in N ₂ O		0,00		0,00		0,03		0,05
Totaal emissies	111,9	2,3	119,5	3,2	116,7	2,3	131,3	2,1
Onverklaarde rest ...	199,4	3,4	219,4	6,2	57,3	3,8	159,8	6,0
... als % van verlies	64%	60%	65%	66%	33%	63%	55%	74%
... als % van aanvoer	33%	12%	32%	17%	12%	14%	25%	17%

Het stikstofverlies als percentage van de aanvoer blijkt tussen de 20% en 25% te liggen. Daarvan is een gedeelte te verklaren uit gemeten emissies. De rest is verloren gegaan als het niet bepaalde stikstofgas (N₂) of wordt veroorzaakt door meetonauwkeurigheden als gevolg van de beperkingen die de gevolgde meetmethode met zich meebrengt. Verder lijkt er geen verschil te zijn in het verlies van stikstof tussen gangbare mest en drijfmest met FIR.

In Tabel III tenslotte wordt een overzicht gegeven van de gemeten emissies. Naast de ammoniakemissie zijn daarin ook de emissies van de broeikasgassen CO₂, CH₄ en N₂O en de geuremissie weergegeven. Bij de geuremissie waren alleen de metingen op het eerste meetmoment relevant. Op het tweede meetmoment bleken in alle ronden geen geurstoffen waargenomen te worden. De kwalitatieve beoordeling van de geur lag tussen 'zeer licht onaangenaam' en 'licht onaangenaam'.

Tabel III: Emissies tijdens composteren (kg)

Emissie	B1	C1	B2	C2
NH ₃	2,8	3,9	2,7	2,5
CO ₂	392,1	418,5	405,7	439,3
CH ₄	6,5	8	8	15,3
N ₂ O	0,6	0,6	0,6	0,8
NH ₃ /kg aangevoerde N	0,10	0,11	0,10	0,07
Geuremissie (Odour Units)	9205	3253	362	962

Verloop van de emissie van ammoniak en methaan en het temperatuurverloop tijdens de ronde laat zien dat in de tweede helft van de compostering, waarschijnlijk vooral in de onderste helft van de hoop omstandigheden ontstaan waarbij gebrek aan zuurstof leidt tot onvolledige compostering.

Op grond van de resultaten van het kwaliteitsonderzoek van de gemaakte compost kan worden geconcludeerd dat het niet waarschijnlijk is dat de aanvoer van organische stof van buiten het bedrijf tot milieukundige problemen leidt. In een vergelijking van drijfmest en de uit aangevoerd gras en drijfmest gemaakte compost bleek geen verhoogde kieming van onkruidzaden. Wat het gehalte aan zware metalen betreft voldoet de gemaakte compost over het algemeen aan de normen van het BOOM. Incidenteel is een overschrijding van de zinknorm aangetroffen. Bij landbouwkundig gebruik van de compost is de extra zware metalenbelasting als gevolg van het gebruik van gras van buiten het bedrijf verwaarloosbaar. Uit de resultaten van de stabiliteitstest van de compost volgens de Oxitop® methode kan worden geconcludeerd dat de stabiliteit van de gemaakte compost onvoldoende is om te kunnen spreken van 'compost'. Dit geldt zowel voor de verse als voor de gerijpte compost. Er zijn aanwijzingen dat anaërobe omstandigheden hebben geleid tot rotting in plaats van compostering.

Om de situatie waarin drijfmest wordt gecomposteerd op bedrijfsniveau te kunnen vergelijken met de situatie waarin dat niet gebeurt en de mest de gebruikelijke manier wordt opgeslagen en toegediend zijn de stikstofverliezen in beide situaties doorgerekend. Uitgangspunten zijn weergegeven in Tabel IV.

Tabel IV: Uitgangpunten voor verliesberekeningen

	Waarde	Eenheid
Aantal koeien	80	
Melkproductie	8000	kg * dier ⁻¹ * jaar ⁻¹
Rantsoen	Gras/maïs	50/50
Weidesysteem melkvee	Beperkt	
Weidesysteem pinken en kalveren	Onbeperkt	
Weideperiode (incl. overgang)	175	Dagen
Stalperiode	190	Dagen
Vervanging	30	%
Aantal pinken (>1 jaar)	27	
Aantal kalveren (< 1 jaar)	27	

Op een bedrijf met compostering van de geproduceerde drijfmest blijkt het stikstofverlies op bedrijfsniveau 24,3% van de totale aangevoerde stikstof te zijn terwijl dat op een hetzelfde bedrijf zonder compostering op 14,0% ligt. Op basis van deze uitkomsten is het niet aan te raden om de drijfmest op een bedrijf op deze manier te composteren.

Summary

During composting of any material mass and mineral losses occur. It is for that reason that within the project "Composting on dairy farm" attention is paid to these losses when dairy slurry is composted together with grass. This report describes the experiment in which the losses were measured and mass and mineral balances were calculated. Additionally, the quality of the compost and the risk of accumulation of heavy metals in the soil and the spreading weed seeds after application of compost was considered.

Goals of the experiment were to:

1. measure emissions and calculate mass and mineral balances of the composting process and
2. determine the compost quality and the risk of accumulation of heavy metals and the spreading of weed seeds.

Ad. 1. The questions of the height of the mineral losses during composting is important as the reduction of mineral losses, like ammonia emission, during storage of slurry and application of compost should not be compensated by (higher) losses during composting.

Ad. 2. With the measurement of compost quality knowledge will be gained about the agricultural effect and possible environmental consequences of the use of compost. Three questions should be answered:

- a) What is the heavy metal concentration in the compost and what is the relative contribution of the slurry to the total heavy metal content.
- b) What is the germination rate of weed seeds in compost.
- c) What the concentration of organic matter and mineral nitrogen in compost and what contribution can be expected in the term of building up the soil organic matter level nitrogen mineralization

Composting experiment was done on the farm of Mr and Mrs Bouwmans in Bakel (Noord-Brabant, The Netherlands). The Bouwmans had considerable experience with composting and the way of composting in this experiment was similar to their method. They use rather intensive way of composting with regular adding of slurry and turning of the compost heap. Total composting took around 3 weeks. Composting starts with building a heap of grass, straw and a sugar rich rest product of the food industry, called "diatomeenaarde", acting as a starter of the composting process. After two to three days dairy slurry is added and the heap is turned. This is repeated two to three times each two to three days. Afterwards no slurry is added anymore but the heap is turned every two to three days till the end of the composting.

The experiments took place in four rounds with two dairy slurries. In round B1 and B2 dairy slurry of the Bouwmans farm was used. The cows on the Bouwmans farm get a feeding supplement aiming to reduce ammonia and odour emission. This supplement called FIR (Physical Ions Regulation) consists mainly of carbon that should bind ammonia and odour components in the slurry. On www.carbo-holland.nl more information can be found. In the rounds C1 and C2 dairy slurry of the dairy research farm of Applied Research "Cranendonck" was used. On this farm standard feeding with grass and maize silage as roughage and an amount of concentrate depending on lactation stage and production is used.

Composting took place in a part of a shed (see figure 2 and photo 2 in the report). This shed was equipped with mechanical ventilation. It was assumed that all air left the shed through the mechanical ventilation so that by measuring flow rate and concentration of ammonia (NH₃) and the greenhouse gases CO₂, N₂O and CH₄, total emission can be calculated. The pressure difference between inside and outside was measured to check the assumption of no significant air leakages at other places than the ventilator. Background concentrations of abovementioned gases were measured as well.

An air sample was taken at day 3 and day 24 of the composting for olfactometric measurement of odour emission.

In every round all materials added to the composting were weighed and analyzed on dry matter, organic matter, nitrogen (N-total, N-NH₃ and N-organic), potassium and phosphate and pH. Incoming materials were grass, straw, starter and slurry. Outgoing materials were compost and leakage water. The leakage water was collected in a drum and the amount was measured daily.

Temperature was measured at four places in the top layer as well as in the bottom layer of the heap. Also air temperature in the shed and outside temperature were measured. Volume of the heap was calculated from length, width at top, width at base and height of the heap which were measured just after building of the heap, after every turning and before breaking down the compost heap (see figure 3).

Compost quality was defined as possible negative effect of compost on environment and contribution to soil organic matter content. Environmental effect was measured through determining the effect of composting on weed seeds germination and heavy metals content (Ni, Pb, Cu, Cr and Zn). Stability of organic matter was the criteria for soil organic matter content and measured with the Oxitop® method. In this method respiration of compost is measured during 120 to 168 hours at a temperature of 30 °C. Respiration rate in mmol O₂ per kg organic matter per hour can be calculated. Method is developed by the Environmental Technology Group of Wageningen University.

The mass balance of the four compost heaps are given in Table I.

Table I: Mass balance of each round in kg

	Round	Total	DM	Ash	OM	N-NH ₃	N-Org	N-total	P ₂ O ₅	K ₂ O
Incomming	B1	6986	1430,6	209,0	1222,1	9,4	18,3	27,7	10,6	43,1
	C1	7493	1665,9	288,0	1377,9	12,0	25,0	36,9	14,2	52,0
	B2	6920	1168,6	217,0	951,9	7,9	20,1	28,0	11,3	38,8
	C2	7818	1453,0	184,6	1268,7	9,9	24,4	34,2	12,3	36,6
Outgoing	B1	4510	855,4	254,8	599,6	0,9	21,3	22,1	10,2	37,0
	C1	4830	1050,5	351,1	700,0	1,4	26,1	27,6	14,0	44,4
	B2	4560	902,2	297,2	604,0	0,9	21,0	21,9	11,9	34,8
	C2	5210	888,7	201,6	686,6	1,1	25,1	26,1	12,0	32,1
Loss	B1	2476	575,2	-45,8	622,5	8,5	-3,0	5,6	0,4	6,1
	C1	2663	615,4	-63,1	677,9	10,5	-1,1	9,3	0,2	7,6
	B2	2360	266,4	-80,2	347,9	7,0	-0,9	6,1	-0,6	4,0
	C2	2680	564,2	-17,0	582,1	8,8	-0,6	8,1	0,2	4,5
Loss-%	B1	35,4%	40,2%	-21,9%	50,9%	90,4%	-16,4%	20,3%	3,8%	14,1%
	C1	35,5%	36,9%	-21,9%	49,2%	88,1%	-4,4%	25,3%	1,5%	14,6%
	B2	34,1%	22,8%	-36,9%	36,6%	89,1%	-4,3%	21,7%	-5,3%	10,4%
	C2	33,4%	38,8%	-9,2%	45,9%	89,0%	-2,5%	23,6%	1,7%	12,2%

The total mass loss is around 35% and volume reduction changes from 73% to 94% (see table 9 and figure 4). Loss of organic matter is between 36,6% and 50,9%, indicating that there is difference in composting efficiency. Ammonia nitrogen is almost completely vaporized although organic nitrogen is presumably partly turned over into ammonia nitrogen. An overview of the loss of minerals further divided into different component is given in table II.

Table II: Carbon and nitrogen balance in kg.

	Round B1		Round C1		Round B2		Round C2	
	C	N	C	N	C	N	C	N
Total incoming material	611,0	27,7	689,0	36,9	476,0	28,0	634,4	34,2
Total outgoing material	299,8	22,1	350,0	27,6	302,0	22,0	343,3	26,1
Loss:	311,3	5,7	338,9	9,3	174,0	6,1	291,1	8,1
Emissions:								
- C in CO ₂	107,1		113,6		110,7		119,9	
- C in CH ₄	4,9		5,9		6,0		11,4	
- N in NH ₃		2,3		3,2		2,2		2,1
- N in N ₂ O		0,00		0,00		0,03		0,05
Total emissions	111,9	2,3	119,5	3,2	116,7	2,3	131,3	2,1
Inexplicable rest ...	199,4	3,4	219,4	6,2	57,3	3,8	159,8	6,0
... as % of loss	64%	60%	65%	66%	33%	63%	55%	74%
... as % of incoming	33%	12%	32%	17%	12%	14%	25%	17%

The total nitrogen loss is between 20% and 25% of the total incoming amount of nitrogen. This loss is partly explicable by emissions. The rest got presumably lost as N₂ which has not been measured due to high background concentration in air. There seems not to be any difference in type of slurry.

In table III an overview is given of the measured emissions.

Odour was only measured in the sample after 3 days of composting. The odour was characterized as "very lightly unpleasant" and "lightly unpleasant".

Table III: Emissions during composting in kg.

Emissions	Round B1	Round C1	Round B2	Round C2
NH ₃	2,8	3,9	2,7	2,5
CO ₂	392,1	418,5	405,7	439,3
CH ₄	6,5	8	8	15,3
N ₂ O	0,6	0,6	0,6	0,8
NH ₃ per kg incoming N	0,10	0,11	0,10	0,07
Odour emission (Odour Units)	9205	3253	362	962

The development of the emissions during composting (see figure 8 and figures in appendices) shows that in the second half of the composting process the amount of oxygen was limited presumably especially in the lower half of the compost heap. Emissions of methane give reasons to believe that anaerobic circumstances occurred leading to incomplete composting.

Based on the results of the compost quality measurements it is unlikely the composting will lead to environmental problems. No higher germination rate of weed seeds was measured (see table 18) and only the level of zinc exceeded the general accepted levels (see table 19). The respiration rate of fresh and ripened compost was too high compared to stable compost. It is likely that this is the result of lack of oxygen in the second half of the composting process. The stability of the compost was insufficient.

The decision of a farmer to start composting of his slurry or not, depends not only on the nitrogen losses during the process but on the total losses in the chain of production, storage and application of the compost. Therefore total emissions on a farm with and without composting have been compared. On an imaginary farm, main characteristics given in table IV, the nitrogen loss in the situation where slurry is composted is compared with the situation where the slurry is storage and application is traditional.

Table IV: Main characteristics of farm for calculation of nitrogen losses

	Value	Unit
Number of cows	80	
Milk production	8000	kg * cow ⁻¹ * year ⁻¹
Feeding	Grass/maïs	50%/50%
Grazing milking cows	12	hours per day
Grazing calves	24	hours per day
Grazing period	175	Days
Stable period	190	Days
Annual replacement	30	%
Number of calves (>1 year)	27	
Number of calves (< 1 year)	27	

The total nitrogen loss on the farm with composting is 24,3% of the produced and supplied amount of nitrogen. In the situation without composting the total loss is 14,0% of the produced amount of nitrogen. Based on this results farmers are recommended not compost their slurry in the way described in this project. A more extensive way of composting is more appropriate as nitrogen losses are presumably lower.

Inhoudsopgave

Voorwoord	
Samenvatting	
Summary	
Inhoudsopgave	
1 Inleiding	1
2 Materialen en methoden	3
2.1 Beschrijving van het composteringsproces	3
2.2 Locatie	3
2.3 Balansmetingen	4
2.3.1 Hoeveelheid en samenstelling van aan- en afgevoerd materiaal	5
2.3.2 Volumereductie	7
2.3.3 Temperatuur	7
2.3.4 Ventilatie	7
2.3.5 Emissies	7
2.4 Compostkwaliteit	8
2.4.1 Kiemkracht onkruidzaden	8
2.4.2 Zware metalen	8
2.4.3 Stabiliteit van de organische stof	8
3 Resultaten en discussie	10
3.1 Balansmetingen	10
3.1.1 Hoeveelheid en samenstelling van aan- en afgevoerd materiaal	10
3.1.2 Volumereductie	11
3.1.3 Temperatuur	12
3.1.4 Ventilatie	13
3.1.5 Emissies	14
3.1.6 Massa- en mineralenbalans	18
3.2 Compostkwaliteit	20
3.2.1 Kiemkracht onkruidzaden	20
3.2.2 Zware metalen	20
3.2.3 Stabiliteit van de organische stof	21
4 Praktijktoeepassing	23
4.1 Drijfmeststelsysteem	24
4.2 Composteringssysteem	24
5 Conclusies	26
5.1 Balansmetingen	26
5.2 Compostkwaliteit	26
Literatuur	27
Bijlagen	28
Bijlage 1. List of headings of tables and figures	28
Bijlage 2. Temperatuurverloop in ronde B1, C1 en B2	29
Bijlage 3. Emissieverloop in ronde B1, B2 en C2	30

1 Inleiding

Een gangbaar melkveehouderijbedrijf in Nederland is voor bemesting en veevoeding afhankelijk van de aanvoer van kunstmest en krachtvoerders. Deze bevatten grote hoeveelheden mineralen, vooral stikstof en fosfaat. Van deze mineralen wordt slechts een klein deel weer afgevoerd in de melk en het vlees. Het grootste deel komt in de mest terecht. Deze stikstof en fosfaat in de mest wordt, na toediening, slechts gedeeltelijk benut door gewassen. Een ander deel hoopt zich op in de bodem en veroorzaakt onacceptabele verliezen naar het grond- en oppervlaktewater (nitraatuitspoeling en eutrofiëring). Ook tijdens opslag en toediening treden verliezen op in de vorm van emissie van ammoniak. Deze ammoniakemissie draagt bij aan de verzuring van het milieu.

De overheid heeft de laatste decennia regelgeving in het leven geroepen die dit verlies van mineralen moet beperken. Tot nu toe richten de geïmplementeerde maatregelen zich vooral op het verlagen van de ammoniakverliezen rondom de huisvesting van dieren en de opslag en toediening van mest. Als gevolg hiervan zijn opslagen afgedekt en is bovengrondse, breedwerpige toediening, vrijwel geheel vervangen door emissiebeperkende methoden. In 1998 is het Mineralen Aangifte Systeem (MINAS) ingevoerd. De aan- en afvoer van mineralen moet daarin bijgehouden worden en verliezen groter dan een vastgestelde norm worden belast. Het is daardoor van groot belang dat de dierlijke mest zo goed mogelijk benut wordt op het eigen bedrijf zodat de aanvoer van mineralen beperkt kan worden. Compostering van mest biedt daartoe wellicht mogelijkheden.

In het verleden werd mest vooral als vaste mest toegediend maar door de opkomst van de ligboxenstal is vrijwel de hele melkveehouderij overgeschakeld op drijfmest. De rol van organische stof in de bodem in relatie tot mineralen- en waterhuishouding en de mogelijkheden van compostering zijn daardoor lange tijd onderbelicht geweest.

Organische stof is van belang voor de structuur en vochtvoorziening van de bodem en het bodemleven en heeft daarmee invloed op de bodemvruchtbaarheid. In de huidige bedrijfsvoering op zandgronden (b.v. in Noord-Brabant) speelt de organische stofvoorziening van de bodem nauwelijks een rol. Verhoging van het organische stofgehalte van zandgronden zou echter tot een verbetering van de mineralenbenutting kunnen leiden, omdat het bodemsysteem meer "gebufferd" wordt. Voedingsstoffen zoals ammoniumstikstof en kalium worden gebonden aan het humuscomplex, maar ook andere voedingsstoffen worden tijdelijk vastgelegd in de organische stof. De verbeterde structuur kan tot een diepere en meer verspreide beworteling leiden, waardoor gewassen in staat zijn een groter deel van de bodem te benutten voor de opname van voedingsstoffen en water.

De laatste jaren is de belangstelling voor composteren van mest weer toegenomen. Aan de ene kant als mestverwerkingstechniek waardoor veehouders (overigens meestal varkenshouders) mest kunnen afvoeren van hun bedrijf in een vorm waar vraag naar is, en aan de andere kant als methode om mest op het eigen bedrijf beter te benutten en het organische stofgehalte in de bodem te laten toenemen. Op kleine schaal ontplooiën veehouders en verwerkers van biomassa momenteel initiatieven met betrekking tot compostering. In Noord-Brabant gebeurt dit bijvoorbeeld door middel van compostering van beheershooi en dunne mest.

Het project 'Composteren op melkveebedrijven' sluit bij bovengenoemde ontwikkelingen aan. Het project verkent de rol die compostering kan spelen in de verbetering van het beheer van mineralen en water in de melkveehouderij op zandgronden en beschrijft het bedrijfseconomisch en milieukundig perspectief. In het project vinden de volgende activiteiten plaats:

- Een bureaustudie waarin de bestaande kennis over compostering wordt geïnventariseerd en waarin de economische en milieutechnische gevolgen van compostering op bedrijfsniveau aan de hand van modelberekeningen worden beschreven.
- Een veldproef waarin de stikstofbenutting van een reeks mest- en compostproducten na toediening op gras over een aantal jaren wordt bepaald.
- Een balansmeting van het composteringsproces waarbij ook de emissies van (broeikas)gassen wordt gemeten.
- Een bepaling van de kwaliteit van een reeks compostsoorten
- Een modelstudie naar de afbraak van organische stof.

Inmiddels is de bureaustudie afgerond (Van Dooren *et al.*, 2001) en is een overzicht van de uitkomsten van de veldproeven beschikbaar. Dit rapport doet verslag van de onderdelen "Balansmetingen van het composteringsproces" en "Kwaliteitsbepaling van compost".

1.1 Doel

Doel van het onderzoek is:

1. Opstellen van een massa- en mineralenbalans;
2. Bepalen van de kwaliteit van het eindproduct, de compost.

Vraagstelling voor het onderdeel balansmetingen is: wat is het mineralenverlies tijdens de vorming van compost? Deze vraag is van belang omdat mogelijke vermindering van mineralenverliezen tijdens en na de toediening van compost niet mag leiden tot grotere emissies tijdens de vorming van deze compost.

Doel van het bepalen van de compostkwaliteit is inzicht te krijgen in de landbouwkundige effecten en mogelijke milieukundige gevolgen van het gebruik van deze compost. Daartoe worden de volgende drie vragen beantwoord:

- a) Wat is het zware metalengehalte van de compost en hoe groot is de relatieve bijdrage van de mest en de overige te composteren materialen aan het zware metalengehalte van de compost?
- b) Wat is de kiemkracht van eventuele onkruidzaden in de compost?
- c) Wat is het organische stofgehalte en het stikstofgehalte van de compost en welke bijdrage mag hiervan worden verwacht aan de organische stofopbouw en stikstofmineralisatie bij landbouwkundige toepassing?

1.2 Leeswijzer

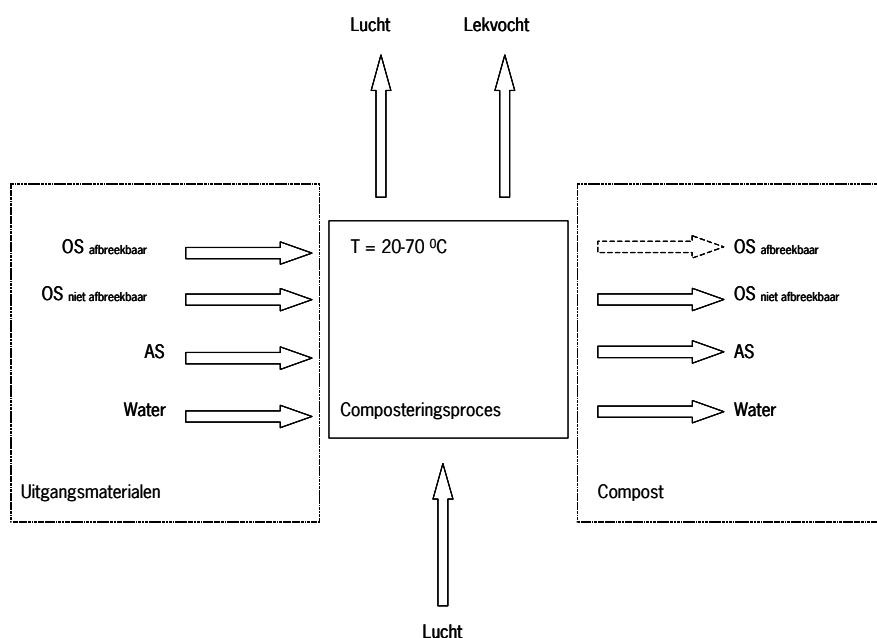
In hoofdstuk 2 wordt de manier van composteren die is toegepast besproken en wordt een beschrijving gegeven van de meetmethode en –locatie. In hoofdstuk 3 volgen de resultaten en de discussie en in hoofdstuk 4 is de praktijktoepassing opgenomen. Tenslotte staan in hoofdstuk 5 de conclusies. Binnen elk hoofdstuk wordt waar nodig onderscheid gemaakt tussen de balansmetingen en de metingen van de compostkwaliteit.

2 Materialen en methoden

2.1 Beschrijving van het composteringsproces

Compostering is de afbraak van organische stof door bacteriën en micro-organismen die daarbij zuurstof gebruiken. De organische stof wordt omgezet in kooldioxide (CO₂) en water (H₂O) waarbij ook warmte vrijkomt. Bij ongunstige omstandigheden of uitgangsmaterialen met een ongunstige samenstelling zal de compostering niet optimaal verlopen of zelfs stoppen en ontstaan onwenselijke tussen- en/of eindproducten, zoals geurstoffen, ammoniak en broeikasgassen.

Bepalende eigenschappen van de uitgangsmaterialen zijn de verhouding koolstof en stikstof (C/N-coëfficiënt), het vochtgehalte, de afbreekbaarheid van de organische stof en de structuur van de materialen. Bepalende omstandigheden tijdens de compostering zijn de beschikbaarheid van zowel koolstof als stikstof in bruikbare vorm, temperatuur, vochtigheid en de beschikbaarheid van zuurstof. In Figuur 1 is een schematisch overzicht gegeven van het composteringsproces. Centraal in de figuur staat de compostering. De invoer is het uitgangsmateriaal en de lucht die aangevoerd wordt. De uitvoer bestaat uit compost, eventueel lekvocht en weer lucht. Afhankelijk van het verloop van het proces is een deel van de afbreekbare organische stof inderdaad omgezet. De daarbij vrijkomende stoffen bevinden zich in de compost, de lucht of het lekvocht. Door de gehalten in de verschillende stromen te bepalen is een balans op te stellen.



Figuur 1: Schematisch overzicht van het composteringsproces (naar: Haug, 1993)

2.2 Locatie

De balansmetingen in dit onderzoek zijn verricht op het bedrijf van de familie Bouwmans in Bakel. Het bedrijf is gelegen in het oostelijk deel van de provincie Noord-Brabant op een droogtegevoelige zandgrond. Het is een gemengd bedrijf waar naast melkvee ook zeugen gehouden worden. Gemiddeld zijn 67 melkkoeien en 52 stuks jongvee aanwezig die per jaar ongeveer 1550 m³ drijfmest produceren. Deze drijfmest wordt in eerste instantie in de kelders onder de ligboxenstal opgeslagen. De aanwezige zeugen produceren daarnaast bijna 1200 m³ stromest per jaar. Het bedrijf heeft een melkquotum van bijna 560.000 kg en de beschikking over 16,5 ha grasland (Gt V), 11,7 ha bouwland (Gt VII) waarop maïs wordt geteeld en 7,7 ha beheersgrasland (Gt V) van staatsbosbeheer. Het gras van dit beheersland wordt als hooi in ronde balen afgevoerd en ingezet bij de compostering.

Op dat bedrijf wordt al lange tijd drijfmest gecomposteerd. Compostering is daarbij geen doel op zich maar is onderdeel van een visie op bodemvruchtbaarheid. In deze visie loopt het organische stofgehalte in te bodem in de loop der jaren terug door het gebruik van alleen drijfmest met negatieve gevolgen voor de gewasopbrengst. Toepassing van compost kan een bijdrage leveren aan de instandhouding van het organische stofgehalte in de

bodem en daarmee de bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengst op peil houden. Niet alle drijfmest wordt echter gecomposteerd. De rest van de drijfmest wordt bovengronds uitgereden. Vanuit de overtuiging dat alleen goed ruwvoer kan worden geproduceerd door gezonde mest aan een gezonde bodem toe te voegen, wordt op het bedrijf FIR (fysische ionenregulator) toegepast. Dit middel (voornamelijk bestaand uit kleimineralen) wordt aan het ruwvoer toegevoegd en moet leiden tot minder geur- en ammoniakemissie tijdens composteren en neutraliseert de stoffen die het composteringsproces kunnen belemmeren.

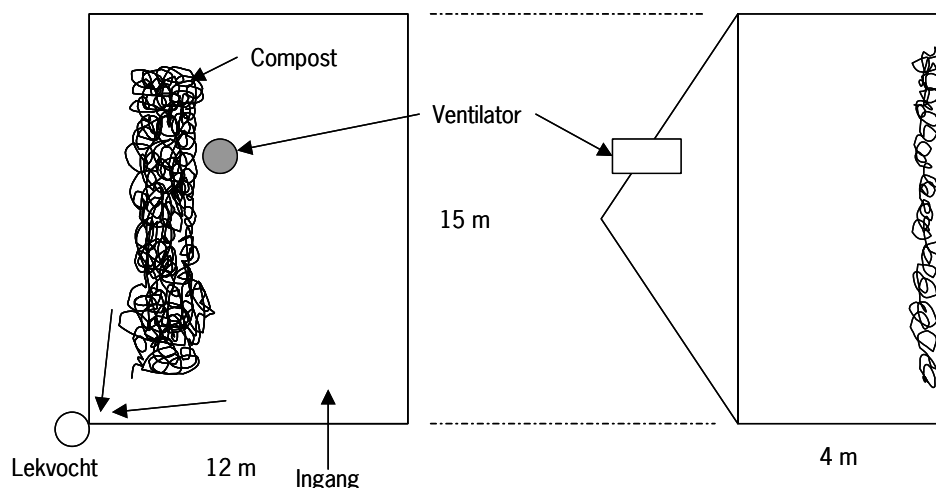
Compostering op het bedrijf van Bouwmans vindt het hele jaar door plaats. Iedere composteringsperiode duurt 4 weken. Elke twee weken wordt een nieuwe hoop opgestart. Deze hoop bevat stromest van de varkens, beheersgras en runderdrijfmest. Daarnaast wordt diatomeenaarde, een suikerhoudende reststof uit de levensmiddelenindustrie, als starter voor het composteringsproces toegevoegd. Per ton runderdrijfmest wordt ongeveer 300 kg beheershooi aangevoerd. Menging van de composthoopen vindt ongeveer om de twee dagen plaats met een portaalmenger die geschikt is gemaakt voor het tegelijkertijd mengen en toedienen van drijfmest. Na vier weken wordt de composthoop afgebroken en wordt de compost in een sleufsilo opgeslagen om te rijpen. De gerijpte compost wordt met een mestverspreider uitgereden op het gras- en bouwland.

2.3 Balansmetingen

Uitgangspunt voor de balansmetingen was het composteringsproces zoals dat toegepast wordt op het bedrijf van Bouwmans (zie paragraaf 2.2) echter dan zonder het gebruik van varkensstromest. In plaats daarvan is een vergelijkbare hoeveelheid stro en runderdrijfmest toegediend. Door het gebruik van FIR wijkt de drijfmest van het bedrijf mogelijk af van wat gangbaar is in Nederland. Daarom is ook runderdrijfmest gebruikt van het praktijkcentrum Cranendonck. In totaal zijn tussen 12 december 2001 en 5 april 2002 vier composteringsronden van elk vier weken uitgevoerd. Beide drijfmestsoorten zijn dus twee keer gebruikt.

De compostering vond plaats in een gedeelte van een kapschuur dat daarvoor geschikt was gemaakt door het zo goed mogelijk van de buitenlucht en de rest van de kapschuur af te schermen (Figuur 2) Het overige deel van de kapschuur was in gebruik als werktuigberging. Een composteerronde startte met het aanvoeren van het beheershooi in ronde balen die in de composteringsruimte werden gezet. Over deze balen werd het stro en de diatomeenaarde verdeeld. Het geheel werd met de getrokken, in verstek werkende portaalmenger omgezet (

Foto 1). Na twee dagen werd de eerste drijfmest toegediend, gelijktijdig met het omzetten van de composthoop. Dit werd nog twee keer herhaald met tussenposen van 2 à 3 dagen, waarna in het vervolg van de compostering de hoop om de 2 à 3 dagen alleen werd omgezet. Na vier weken werd de hoop afgebroken en overdekt opgeslagen waarna een nieuwe composteringsronde begon.



Figuur 2: Bovenaanzicht (links) en zijaanzicht (rechts) van composteringsruimte.

In Tabel 1 worden per mestsoort de begin- en einddatum het aantal keren mesttoedienen en omzetten van de composthoop weergegeven. Elke ronde duurde 28 dagen.

Voor het opstellen van een balans is het nodig alle ingaande en uitgaande stromen te wegen en bemonsteren. Ingaande stromen zijn beheershooi, stro, diatomeenaarde, lucht en drijfmest. De uitgaande stromen zijn compost, ventilatielucht en lekvocht. In de volgende paragrafen worden de metingen aan deze stromen beschreven.

Tabel 1: Mestsoort en begin- en einddatum van de composteerrondes

Ronde	Code	Mestsoort	Begindatum	Aantal keren		Einddatum
				mest toedienen	hoop omzetten	
1	B1	Bouwmans	12-12-2001	3	7	9-1-2002
2	C1	Cranendonck	11-1-2002	3	7	8-2-2002
3	B2	Bouwmans	8-2-2002	2	8	8-3-2002
4	C2	Cranendonck	8-3-2002	3	7	5-4-2002

2.3.1 Hoeveelheid en samenstelling van aan- en afgevoerd materiaal

De ingaande producten zijn gewogen op een mobiele weegbrug (hooi en drijfmest) of een weegschaal (diatomeenaarde en stro). Van elke baal hooi is een monster van twee plukken genomen waaruit per ronde een mengmonster is samengesteld. Ook het stro is bemonsterd. De op het bedrijf aanwezige partij diatomeenaarde is alleen bij de eerste ronde bemonsterd. Aangenomen is dat deze partij homogeen was. Van elke tank drijfmest is een representatief monster genomen. De hoeveelheid en samenstelling van de ventilatielucht is bepaald (zie paragraaf 0 en 2.3.5).

De compost is na afloop van elke ronde op 5 plekken bemonsterd. Per plek werd zowel een monster uit de bovenste helft van de hoop als een monster uit de onderste helft van de hoop genomen. Van deze monsters is een dubbel mengmonster gemaakt. Daarna is de hoeveelheid compost gewogen op de weegbrug. Voor bepaling van de hoeveelheid en samenstelling van de ventilatielucht zie paragraaf 2.3.4.

Alle monsters zijn geanalyseerd op droge stof, organische stof, N-Totaal, N-Organisch, N-Mineraal, kali en fosfaat. Daarnaast is de C/N verhouding en pH van een aantal producten bepaald. In bepaald. De drijfmestmonsters zijn geanalyseerd op droge stof, organische stof, N-totaal, N-organisch, NH₃, K₂O en P₂O₅. Verder zijn pH en C/N-verhouding bepaald. De compostmonsters zijn geanalyseerd op: droge stof, organische stof, N-totaal, N-organisch, NH₃, NO₃⁻, K₂O, P₂O₅, pH en C/N-verhouding (zie Tabel 2)

Tabel 2: Overzicht van analyses aan in- en uitgaande materialen.

	DS	OS	N-totaal	N-NH ₃	N-NO ₃	N-Organisch	K ₂ O	P ₂ O ₅	pH	C/N verhouding
<i>Ingaande stromen</i>										
Beheershooi	X	X	X	X	X	X	X	X		X

Drijfmest	X	X	X	X		X	X	X	X	X
Stro	X	X	X	X		X	X	X		X
Diatomeenaarde	X	X	X	X		X	X	X		
<i>Uitgaande stromen</i>										
Compost	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Lekvocht	X	X	X	X		X	X	X		



Foto 1: Overzicht van de composteerruimte met ventilatiekoker (boven) en trekker met portaalmeuler

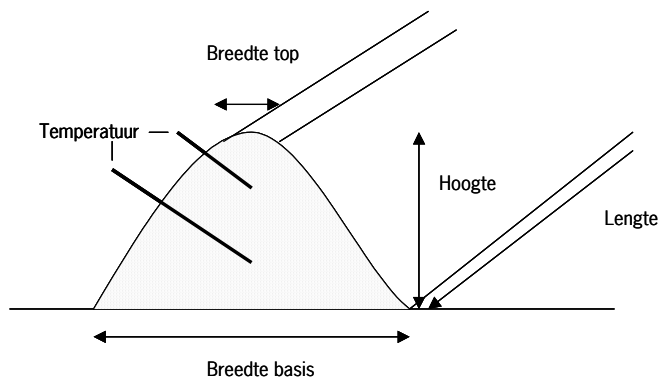
Afhankelijk van het verloop van het proces kan lekvocht uit de composthoop lopen. Dit vocht is opgevangen in een ingegraven ton met een inhoud van ongeveer 1 m³. De vloer in de composteerruimte heeft een licht afschot richting deze ton (Foto 2). Zo nodig is het vocht dat uit de hoop loopt dagelijks met een vloertrekken naar de ton getrokken. De ton is afgedekt zodat geen regen regenwater in de ton kon komen of vloeistof eruit verdampen. Dagelijks is de inhoud van de ton met een meetstok gemeten (grondoppervlak bekend). Wekelijks is een monster genomen. Daarbij is het volume van het genomen monster bepaald. Het lekvocht is geanalyseerd op: droge stof, organische stof, N-totaal, N-organisch, NH₃, NO₃, K₂O, P₂O₅, pH en C/N-verhouding (zie Tabel 2).



Foto 2: Meting van vloeistofniveau lekvocht.

2.3.2 Volumereductie

Na het opbouwen van elke composthoop, telkens na het omzetten en tenslotte vlak voor het afbreken van de composthoop is op vijf punten de hoogte, breedte van de basis, breedte aan de top en de totale lengte van de composthoop bepaald. Wanneer aangenomen wordt dat de doorsnede van de composthoop overeenkomt met een trapezium is hieruit het volume te berekenen (Figuur 3).



Figuur 3: Overzicht temperatuur- en volumemetingen

2.3.3 Temperatuur

In de composthoop zijn 8 PT-100 temperatuursensoren aangebracht, vier in de bovenste helft van de composthoop en vier in de onderste helft, gelijkmatig verdeeld over de lengte van de hoop (zie Figuur 3). De sensoren zijn in een pvc-buisje in de composthoop gebracht. Daarnaast is 1 PT-100 sensor gebruikt voor vastlegging van de ruimtetemperatuur. Elk kwartier zijn de waarden van alle negen sensoren vastgelegd in de hierboven beschreven datalogger. Voor het omzetten van de composthoop zijn de pvc-buisjes met temperatuursensoren verwijderd en direct na het omzetten weer aangebracht.

2.3.4 Ventilatie

Om emissiemetingen mogelijk te maken werd de compostingsruimte mechanisch geventileerd met een aangebrachte dakventilator (Fancor 1435M) met een kokerdiameter van 35 cm en een maximaal ventilatiedebiet van 2180 m³/uur. De ventilator was voorzien van een meet- en smoorunit (type FMS .35) bestaande uit een smoorunit voor debietregulatie en een meetwaaier voor debietregistratie. De meet- en smoorunit was aangesloten op een regelunit (type FCTA) waar de minimale en maximale ventilatie ingesteld kon worden. De meetwaaier in de ventilatiekoker was naast de standaard toerentalopnemer voor ventilatieregeling voorzien van een extra opnemer die aangesloten was op een datalogger (merk DataTaker type DT 500). Hiermee werd het toerental vastgelegd waaruit het ventilatiedebiet berekend kan worden. De verschuldigdrukmeter bepaalde het verschil tussen de luchtdruk in de compostingsruimte en de luchtdruk buiten. Wanneer een lichte onderdruk heerst in de compostingsruimte kan aangenomen worden dat alle lucht de ruimte via de ventilator verlaten heeft. Op basis van een schatting van de voor de compostering benodigde ventilatie is uitgegaan van minimum ventilatie van 250 m³/uur. Uitgangspunt was dat de natuurlijke luchtstroming in de composthoop niet verstoord wordt maar dat in de ruimte wel zoveel onderdruk wordt gecreëerd dat alle lucht via de ventilatie-unit de ruimte verlaat. Gestreefd werd naar een onderdruk van 20 hPa. Voor aanvang van de eerste composteerronde is een rookproef uitgevoerd om na te gaan of andere openingen aanwezig waren dan de ventilatiekoker waardoor aanzienlijke hoeveelheden lucht ontsnapten. Deze openingen zijn daarna gedicht. Uiteindelijk is de minimumventilatie ingesteld op 31% en de maximale ventilatie op 36% van het maximale vermogen van de ventilator.

2.3.5 Emissies

In de ventilatiekoker was een monsternamepunt aangebracht waarmee luchtmonsters van de uitgaande ventilatielucht genomen konden worden. Deze luchtmonsters werden door een leiding die voorzien was van verwarmingslint (om condensatie in de leiding te voorkomen) naar een meetpuntomschakelaar (MPO) geleid (merk Envico type MP 158). Deze MPO had als taak afwisselend monsters van de uitgaande ventilatielucht en monsters

van de buitenlucht te nemen. Voor de monsters van de buitenlucht was aan de loefzijde van de kapschuur een monsterpunt gerealiseerd. Ook de leiding naar dit monsterpunt was voorzien van verwarmingslint om condensatie in de leiding te voorkomen. Vanuit de MPO werden de luchtmonsters naar een multigasmonitor geleid (Bruël & Kjaer 1302) die was ingericht op de bepaling van CO₂, N₂O, CH₄ en NH₃. Daarnaast werd ook het vochtgehalte en temperatuur van de lucht bepaald en opgeslagen in een datalogger (DataTaker DT 200). De MPO nam afwisselend 2 monsters buitenlucht en 1 monster binnenlucht. Om beïnvloeding van de meting door vermenging van buitenlucht met lucht uit de composteringsruimte tijdens de eerste meting uit te sluiten, zijn alleen gegevens van het tweede buitenluchtmonster gebruikt voor de emissiemetingen.

Naast de emissie van ammoniak (NH₃) en broeikasgassen (CO₂, CH₄ en N₂O) is ook de uitstoot van geur bepaald. Geur is een verzamelnaam voor een heel aantal stoffen zoals vluchtige vetzuren en fenolen die door de lage concentratie van de verschillende componenten moeilijk afzonderlijk te bepalen zijn. Het geheel van geurstoffen is daarom bepaald door middel van olfactometrie. Olfactometrie is de meetmethode waarbij de geurconcentratie van een luchtmonster wordt vastgesteld door een reeks verdunningen aan een geurpanel aan te bieden (Ogink, 2001). Een luchtmonster waarbij de helft van het panel het monster nog net kan onderscheiden van geurloze lucht bevat 1 geureenheid. Een monster wat met een factor 10 verdund moet worden om dit te bereiken bevat dus 10 geureenheden. Voor bepaling van de geureenheden is tijdens elke ronde op dag 3 en op dag 24 een representatief monster uit de uitgaande ventilatielucht genomen volgens de methode beschreven in (Ogink, 2001). Monsters zijn binnen 24 uur geanalyseerd door het geurlaboratorium van het IMAG in Wageningen.

2.4 Compostkwaliteit

De compost uit de vier hopen is getoetst op mogelijk gevolgen voor het milieu (onkruidzaden en zware metalen) en op de landbouwkundige werking. Voor het vaststellen van mogelijke milieukundige gevolgen dient vooral het gebruik van op het bedrijf aangevoerde stoffen onderzocht te worden. Deze bedrijfsvreemde stoffen brengen risico's met zich mee door de zware metalen en onkruidzaden die zij kunnen bevatten.

2.4.1 Kiemkracht onkruidzaden

Het gehalte aan onkruidzaden in dunne rundermest is laag. Met het gebruik van bedrijfsvreemd materiaal zoals beheershooi kan het aantal onkruidzaden worden verhoogd en/of kunnen vreemde onkruiden binnen het bedrijf worden geïntroduceerd. Het composteringsproces staat erom bekend dat het onkruidzaden en ook ziektekiemen kan doden. Voorwaarde is wel dat gedurende een bepaalde tijdsduur een temperatuur van ca. 65 °C wordt behaald. In dit onderzoek is de kiemkracht van eventuele onkruidzaden in de compost bepaald. Hiervoor is de standaardmethode gebruikt die ook voor certificeringsdoeleinden (KIWA-keur) wordt toegepast. De bepalingen zijn uitgevoerd door BGG Oosterbeek.

2.4.2 Zware metalen

Dunne rundermest bevat van zichzelf ook zware metalen; hierbij is in principe sprake van een kringloop van zware metalen binnen het bedrijf (ruwvoeraankopen buiten beschouwing gelaten). Vraag is nu of de aanvoer van zware metalen door het compostgebruik wordt beïnvloedt door de extra aanvoer van te composteren materiaal van buiten het bedrijf. Om deze vraag te beantwoorden zijn de totaalgehalten aan zware metalen bepaald in gras, stro, drijfmest en compost van de vier hopen die in het onderzoek zijn opgezet. Als referentiecompost is een groencompost meegenomen in de analyse. Hierbij zijn de volgende zware metalen meegenomen: cadmium (Cd), Nikkel (Ni), Lood (Pb), koper (Cu), Chroom (Cr) en Zink (Zn). De bepalingen zijn gedaan met een massaspectrometer en uitgevoerd door het laboratorium van de sectie Bodemkwaliteit van Wageningen Universiteit.

2.4.3 Stabiliteit van de organische stof

Belangrijke vraag in het onderzoek naar de kwaliteit van compost is de stabiliteit van de compost, als maat voor de bijdrage aan het organische stofgehalte van grond. Naast de afbreeksnelheid is het stikstofgehalte van de compost belangrijk om te bepalen wanneer en hoeveel stikstof vrijkomt na toediening van de compost aan grond. De gehalten aan organische stof en koolstof zijn bepaald met de gloeiverlies- respectievelijk de Kurmiesmethode. Voorts zijn het minerale stikstof- en totale stikstofgehalte bepaald met extractie in calciumchloride 0,01 M. De bepalingen zijn uitgevoerd door het laboratorium van de sectie Bodemkwaliteit van Wageningen universiteit.

De stabiliteit van de compost is bepaald met de Oxitop[®] methode, uitgevoerd door de secte Milieutechnologie van Wageningen Universiteit. Een maat voor de stabiliteit van de compost is de zuurstofconsumptiesnelheid (of respiratiesnelheid) uitgedrukt in mmol O₂ per kg organische stof per uur. De respiratie wordt onder gestandaardiseerde condities (temperatuur, pH, zuurstof, nutriënten, vochtigheid) uitgevoerd in een suspensie met de Oxitop[®] meetmethode. De metingen zijn uitgevoerd bij 30 °C. De respiratie van de compost wordt gemeten over een periode van 120-168 uur (5-7 dagen) waaruit de respiratiesnelheid bepaald wordt. Uit de respiratiesnelheid kan tevens een goede schatting van de afbraaksnelheid van het organisch materiaal worden berekend omdat de afbreekbaarheid direct gerelateerd is aan de zuurstofconsumptie.

3 Resultaten en discussie

3.1 Balansmetingen

3.1.1 Hoeveelheid en samenstelling van aan- en afgevoerd materiaal

De hoeveelheden aangevoerd materiaal voor het composteren zijn weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3: Aanvoer van verschillende materialen voor compostering [kg product].

	Ronde B1	Ronde C1	Ronde B2	Ronde C2
Hooi	1080	1020	1080	1020
Stro	216	203	220	224
Diatomeenaarde	130	120	130	134
Drijfmest	5560	6150	5490	6440
Totaal	6986	7493	6920	7818

De hoeveelheid drijfmest die per keer werd toegediend is door Bouwmans ingeschat op basis van ervaring met het verloop van het composteringsproces zoals dat gebruikelijk is op zijn bedrijf. Uit Tabel 3 blijkt dat in ronde B1 en B2 relatief minder drijfmest per eenheid hooi en stro is toegevoegd dan in ronde C1 en C2. De massaverhouding hooi en stro ten opzicht van drijfmest was in de B-ronden gemiddeld 1:4,3 en in de C-ronde gemiddelde 1:5,1. De gemiddelde samenstelling van de aangevoerde materialen staat weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4: Gemiddelde samenstelling van aangevoerde materialen [g/kg product].

Materiaal	Ronde	DS	Asrest	OS	N-NH3	N-Org	N-totaal	Fosfaat	Kalium	PH
Hooi	B1	729	50	680	0,2	7,9	8,1	2,6	11,8	
	C1	720	78	641	0,1	8,8	8,8	3,2	14,5	
	B2	499	84	415	0,1	9,2	9,2	3,3	12,7	
	C2	700	48	653	0,2	10,9	11,0	3,8	8,4	
Stro	B1	822	39	782	0,1	4,4	4,5	1,6	11,7	
	C1	863	24	839	0,2	5,1	5,3	1,5	7,9	
	B2	859	16	843	0,2	4,9	5,1	1,2	3,3	
	C2	871	23	848	0,1	4,7	4,7	1,5	6,9	
Diatomeenaarde		814	305	510	0,2	10,9	11,1	6,7	1,0	
Drijfmest	B1	65	18	47	1,6	1,4	3,0	1,2	5,0	7,5
	C1	106	28	78	1,9	2,2	4,1	1,6	5,7	7,8
	B2	64	16	48	1,4	1,4	2,8	1,2	4,5	7,6
	C2	69	15	54	1,5	1,7	3,2	1,2	4,2	7,4

Alleen in ronde B2 is in één baal natuurhooi N-NO₃ aangetroffen. Deze hoeveelheid echter zo klein dat dit geen bleek effect gevonden werd op gemiddelde waarden voor N-totaal.

Wat betreft samenstelling van de aangevoerde materialen vallen twee zaken op (zie vetgedrukte getallen). Het aangevoerde hooi was in ronde B2 natter (minder droge stof) dan in de overige ronden en de aangevoerde drijfmest bevatte in ronde C1 meer droge stof dan in de overige ronden. Het nattere hooi is wellicht de reden dat in ronde B2 minder drijfmest is aangevoerd.

De hoeveelheid afgevoerd materiaal na compostering is weergegeven in Tabel 5. De voornaamste afvoerpost is uiteraard de compost. Daarnaast is ook de opgevangen hoeveelheid lekvocht weergegeven. De afvoer via emissies worden behandeld in paragraaf 3.1.5.1.

Tabel 5: Afvoer van verschillende materialen na compostering [kg product].

	Ronde B1	Ronde C1	Ronde B2	Ronde C2
Lekvocht	330	310	510	880
Compost	4180	4520	4050	4330
Totaal	4510	4830	4560	5210

De gemiddelde samenstelling van de afgevoerde materialen is in **Fout! Ongeldige bladwijzerverwijzing.** weergegeven.

Tabel 6: Gemiddelde samenstelling van afgevoerde materialen [gr/kg product].

Materiaal	Ronde	DS	Asrest	OS	N-NH3	N-Org	N-totaal	Fosfaat	Kalium	PH
Lekvocht	B1	27	12	15	0,2	0,8	1,0	0,3	5,6	8,4
	C1	17	8	9	0,2	0,5	0,7	0,2	3,6	8,4
	B2	23	13	10	0,4	0,7	1,1	0,2	4,5	8,0
	C2	32	12	20	0,5	1,1	1,6	0,4	5,4	7,7
Compost	B1	203	60	142	0,2	5,0	5,2	2,4	8,4	8,3
	C1	231	77	154	0,3	5,7	6,1	3,1	9,6	8,6
	B2	220	72	148	0,2	5,1	5,3	2,9	8,0	8,4
	C2	199	44	155	0,2	5,6	5,7	2,7	6,3	8,4

Uit de gegevens van Tabel 3 en Tabel 5 is de massabalans van het composteringsproces op te stellen (zie Tabel 7).

Tabel 7: Massabalans van composteringsproces [kg].

	Ronde B1	Ronde C1	Ronde B2	Ronde C2
Aanvoer	6986	7493	6920	7818
Afvoer	4510	4830	4560	5210
Massareductie	2476	2663	2360	2608
Reductie-%	35,4%	35,5%	34,1%	33,4%

Ondanks de verschillen in aan- en afgevoerde hoeveelheden blijkt het percentage massareductie voor alle ronden min of meer gelijk te zijn. De verschillen tussen de mestsoorten zijn met gemiddeld 34,8% voor de B-ronden en 34,4% voor de C-ronden minimaal.

In Tabel 8 is de C/N-verhouding weergegeven van de verschillende uitgangsmaterialen afzonderlijk, van het mengsel dat gecomposteerd is en van het lekvocht en de compost. Over het algemeen wordt een verhouding tussen koolstof en stikstof van 30 op 1 aanbevolen voor een goed verlopende compostering. Uit de gegevens in Tabel 8 blijkt dat in alle ronden een overmaat stikstof aanwezig was.

Tabel 8: De C/N verhouding van uitgangsmaterialen en compost in verschillende ronden

	Ronde B1	Ronde C1	Ronde B2	Ronde C2
Hooi	42,4	35,7	21,9	30,0
Stro	86,9	79,2	82,6	90,2
Diatomeenaarde	23,0	23,0	23,0	23,0
Drijfmest	7,7	9,6	8,4	8,4
Aanvoer	22,1	18,7	17,0	18,5
Lekvocht	7,5	6,4	4,5	6,3
Compost	13,7	12,7	14,0	13,5

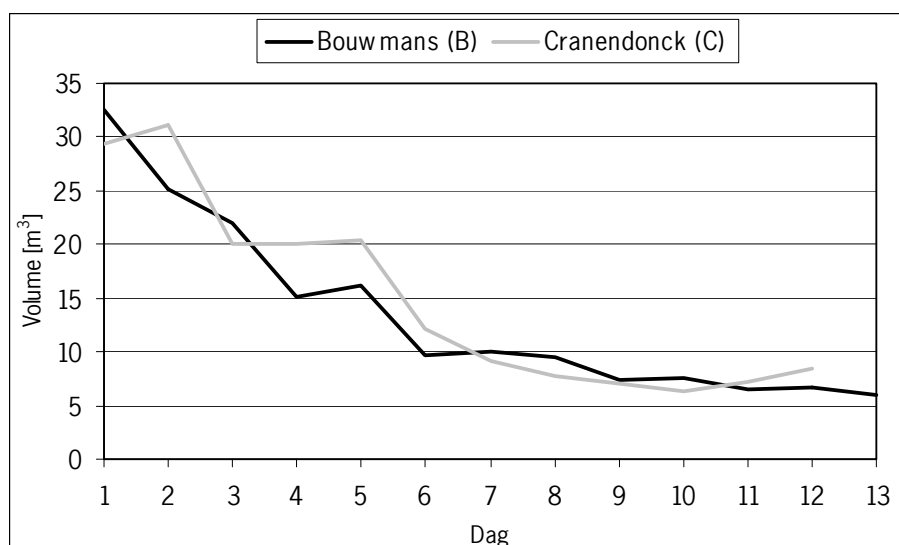
3.1.2 Volumereductie

De volumereductie per ronde en het verloop daarvan per mestsoort is weergegeven in respectievelijk Tabel 9 en Figuur 4.

Tabel 9: Volumereductie tijdens compostering [m³]

	Ronde B1	Ronde C1	Ronde B2	Ronde C2
Startvolume	35,0	31,4	30,2	27,3
Eindvolume	6,0	8,5	6,5	1,6
Volumereductie	29,0	22,9	23,7	25,7
Volumereductie [%]	83%	73%	79%	94%

Door omzetting van organische stof, verlies aan structuur, verdamping van water en verlies van lekvocht nam het volume van de composthoop tijdens de onderzoeksperiode af. Zoals te verwachten was neemt het volume in het begin van de compostering snel af en wordt verloopt de afname in het tweede deel van de compostering trager.



Figuur 4: Volumereductie per mestsoort.

Aan de periodieke toename van het volume moet geen grote waarde toegekend worden. Waarschijnlijk is dit veroorzaakt door de ongelijkmatige vorm van de composthoop en de meetonnauwkeurigheid van met name de breedte van de basis van de hoop. De snelle afname in het begin is te verklaren door het feit dat in deze periode ook de compostingsprocessen snel verlopen. Er zijn voldoende voedingsstoffen en zuurstof aanwezig. Door compostering neemt de structuur van het materiaal (met name gras) af zodat de hoop inklinkt.

3.1.3 Temperatuur

De temperatuur in de composthoop is een goede indicatie voor het verloop van het compostingsproces. Tegelijk is het voor de reiniging van ziektekiemen en onkruidzaden noodzakelijk dat de temperatuur voldoende hoog wordt.

De waarden van de vier temperatuursensoren in de bovenste helft en de vier in de onderste helft van de composthoop én de waarden van de temperatuursensor voor de omgevingstemperatuur zijn per uur gemiddeld. In Tabel 10 is de maximale en gemiddelde temperatuur in de bovenste en onderste helft van de composthoop en de maximale en gemiddelde omgevingstemperatuur weergegeven.

Tabel 10: Overzicht van temperatuurwaarden tijdens de verschillende ronden [°C].

	B1	C1	B2 ¹	C2
Maximum composttemperatuur bovenste helft	53,3	56,6	49,8	55,8
Maximum composttemperatuur onderste helft	47,8	47,4	39,1	42,0
Gemiddelde composttemperatuur bovenste helft	31,7	31,8	31,2	32,1
Gemiddelde composttemperatuur onderste helft	26,7	25,5	25,8	24,6
Maximum omgevingstemperatuur	6,9	13,8	13,5	20,3
Minimum omgevingstemperatuur	-5,6	-0,7	-1,6	0,4
Gemiddelde omgevingstemperatuur	0,8	7,0	6,0	8,8

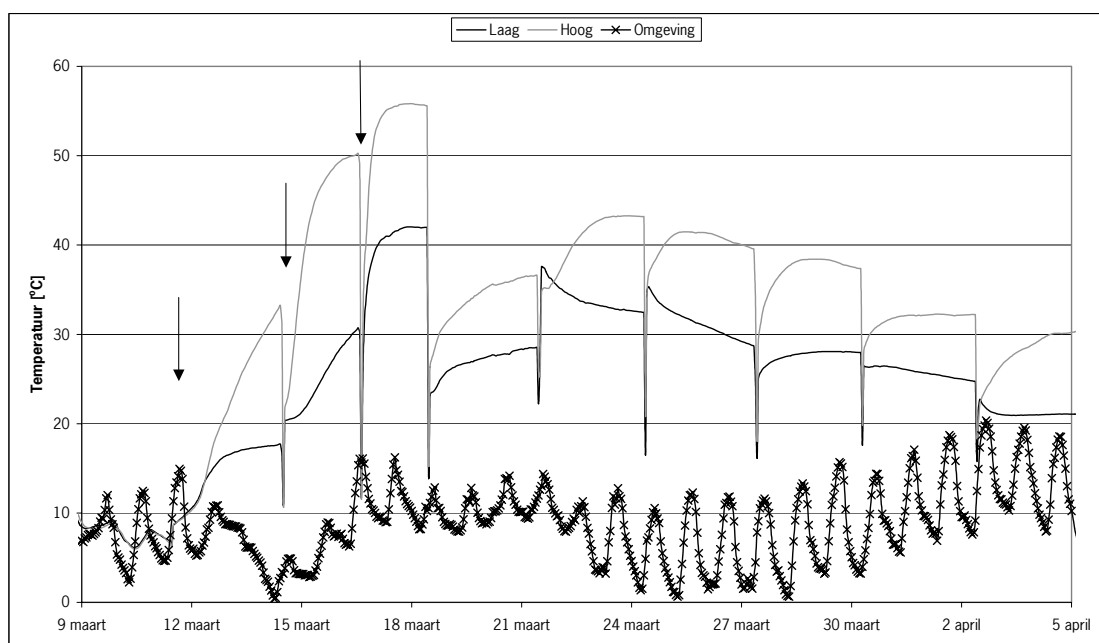
¹ Aan het eind van de ronde B2 ontbreken gedurende drie dagen de temperatuur waarnemingen in de composthoop.

Uit Tabel 10 blijkt dat de maximumtemperatuur zowel in de bovenste als de onderste helft nooit boven de 57 °C heeft gelegen. Over het algemeen wordt aangenomen dat de temperatuur in de composthoop minimaal circa 65°C moet zijn geweest om de compost te reinigen van ziektekiemen en onkruidzaden. Deze temperatuur is tijdens geen van de vier ronden gehaald. De temperatuur in de composthoop lijkt in alle ronden niet beïnvloed te zijn geweest door de omgevingstemperatuur. Verder valt op dat de temperatuur in het onderste deel van de hoop altijd lager is dan die in de bovenste helft. Dit kan verklaard worden door het feit dat de compostering in de bovenste helft van de hoop waarschijnlijk beter is verlopen dan in de onderste helft.

In Figuur 5 is het temperatuurverloop van de composthoop tijdens ronde C2 weergegeven. Dit verloop is vergelijkbaar met de overige ronden. In bijlage 2 is ook het temperatuurverloop van de overige ronden opgenomen. In het verloop van de temperatuur in de composthoop zijn duidelijk de momenten van het omzetten van de composthoop te herkennen. De temperatuur daalt dan sterk omdat de temperatuursensoren op dat moment uit de hoop zijn gehaald en de omgevingstemperatuur aannemen. Na het omzetten van de hoop keert de

temperatuur snel weer terug tot het oude niveau of stijgt daarboven. Op drie momenten is tijdens het omzetten van de composthoop ook drijfmest toegevoegd. Die momenten zijn in de grafiek aangegeven met een pijl. Na het toevoegen van mest stijgt de temperatuur sterk en loopt op tot boven het oude niveau. Door het toevoegen van mest in combinatie met het inbrengen van lucht neemt het compostingsproces kennelijk weer sterkt toe. De hoop is opgezet met door gras, stro en diatomeenaarde te mengen. Voordat voor de eerste keer drijfmest wordt toegediend blijft de temperatuur op het niveau van de omgeving. Er vond nog geen compostering plaats. Pas als drijfmest wordt toegevoegd komt de compostering snel op gang en stijgt de temperatuur sterk. Op hoofdlijnen is het temperatuurverloop voor de hele ronde typisch voor een compostingsproces: een snelle stijging van de temperatuur tot een maximum in het begin en een langzame terugval van de temperatuur in het vervolg van de compostering.

De temperatuur in de onderste helft van de hoop blijft duidelijk achter bij de temperatuur in de bovenste helft. Mogelijke verklaringen daarvoor zijn het grotere warmteverlies via de bodem en het hogere vochtgehalte in de onderste helft van de composthoop gecombineerd met een matige structuur van het uitgangsmateriaal (voornamelijk gras). Hierdoor is het aantal poriën beperkt. Als na verloop van tijd het vocht in de hoop naar beneden zakt neemt het aantal met lucht gevulde poriën in dat deel van de composthoop verder af. Wanneer te weinig lucht (zuurstof) beschikbaar is, vertraagt het compostingsproces. In het verloop van de omgevingstemperatuur is duidelijk het dag- en nachtritme te onderscheiden. De schommelingen van de ruimtetemperatuur lijken niet van invloed te zijn geweest op het niveau of het verloop van de temperatuur in de composthoop.



Figuur 5: Temperatuurverloop in de composthoop en ruimte tijdens ronde C2.

3.1.4 Ventilatie

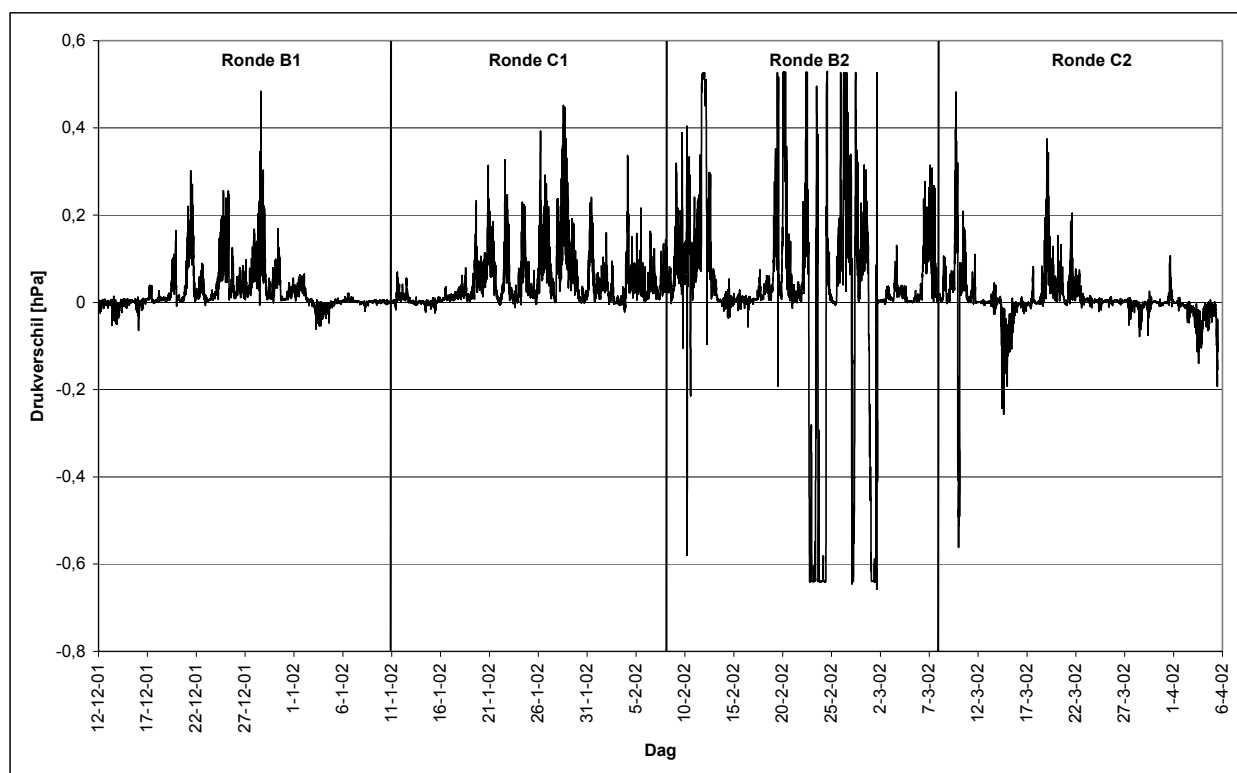
Het ingestelde ventilatiedebiet is door de regelunit vrijwel constant gehouden. De waarden in Tabel 11 geven aan dat tijdens en tussen de ronden weinig verschillen in ventilatiedebiet geconstateerd zijn. In één geval, in ronde C1, is een storing opgetreden waardoor een aantal uren een te hoog ventilatiedebiet is waargenomen. Deze storing viel samen met het omzetten van de hoop op 1 februari 2002. Omdat de concentraties van de verschillende gassen in de uitgaande lucht niet leken te worden beïnvloed door het verhoogde ventilatiedebiet is aangenomen dat de storing zich niet heeft voorgedaan in de regeling van het ventilatiedebiet maar in de vastlegging van dit debiet in de datalogger. De waarden zijn niet meegenomen in de berekening van een aantal karakteristieken (zie Tabel 11) en zijn in de emissieberekeningen van paragraaf 3.1.5.1 vervangen door het gemiddelde debiet in deze ronde.

Tabel 11: Overzicht van ventilatiedebiet tijdens compostieringsronden [m³/uur].

	B1	C1 ¹	B2	C2
Gemiddelde	1433	1433	1433	1432
Maximum	1525	1596	1518	1508
Minimum	1342	1370	1379	1352
Standaarddeviatie (% van gemiddelde)	1,2%	1,1%	1,2%	1,1%

¹ Gecorrigeerde waarden

In Figuur 6 is het verloop van het drukverschil tussen de compostieringsruimte en de buitenlucht tijdens de vier ronden weergegeven. Over het algemeen is het drukverschil positief, wat betekent dat de druk in de compostieringsruimte lager was dan de luchtdruk buiten. De onderdruk is echter laag (maximaal 0,53 hPa) terwijl gestreefd werd naar een drukverschil van 20 hPa. Samen met de korte perioden van overdruk betekent dit dat de aanname dat *alle* lucht de compostieringsruimte via de ventilator verlaat niet terecht is. Voor ronde B1, C1 en C2 geldt echter dat het wel aannemelijk is dat de overgrote meerderheid van de lucht de compostieringsruimte verlaten heeft via de ventilator. In ronde B2 vertoont het drukverschil een grilliger verloop met uitschieters naar boven en beneden. Het winderige weer tijdens deze periode is hiervan waarschijnlijk de oorzaak. Over het geheel van ronde B2 bekeken kan aangenomen worden dat de meerderheid van de lucht via de ventilator de compostieringsruimte heeft verlaten al is het aandeel 'ontsnapte' lucht groter dan in de overige ronden.

**Figuur 6:** Overzicht van het drukverschil in hPa tussen de compostieringsruimte en buitenlucht.

3.1.5 Emissies

3.1.5.1 Ammoniak en broeikasgassen

In de uitgaande lucht en in de buitenlucht is de concentratie van CO₂, N₂O, CH₄, NH₃ en H₂O gemeten. Afwisselend is een concentratiemeting in de uitgaande lucht en twee concentratiemetingen in de buitenlucht uitgevoerd. Het resultaat van de tweede meting is steeds gebruikt om de verschilconcentratie te berekenen. Samen met het ventilatiedebiet is hiermee de emissie van de gemeten stoffen te berekenen. Daarbij is zowel voor de concentraties als voor het ventilatiedebiet gebruikt gemaakt van uurgemiddelden.

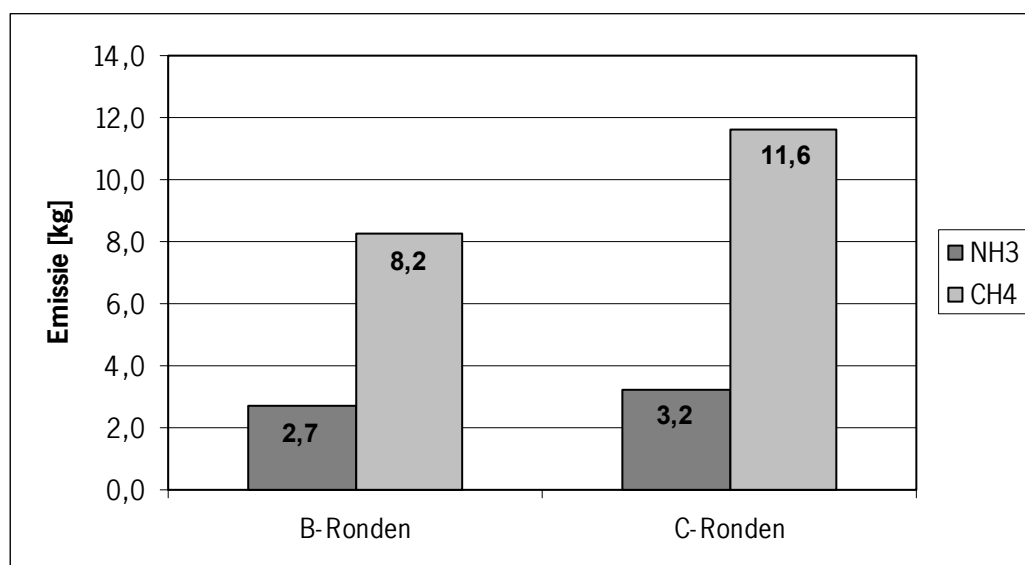
Tabel 12 geeft voor elke ronde de totale uitgestoten hoeveelheden van de gemeten gassen weer.

Tabel 12: Totale uitstoot tijdens composteeringronde [kg]

	Ronde B1	Ronde C1	Ronde B2	Ronde C2
Ammoniak (NH ₃)	2,76	3,87	2,72	2,53
Methaan (CH ₄)	6,54	7,93	8,04	15,27
Kooldioxide (CO ₂)	391,06	416,17	405,65	439,28
Lachgas (N ₂ O)	≈0,00	≈0,00	0,04	0,07
Waterdamp (H ₂ O)	730,69	836,96	991,56	1102,42

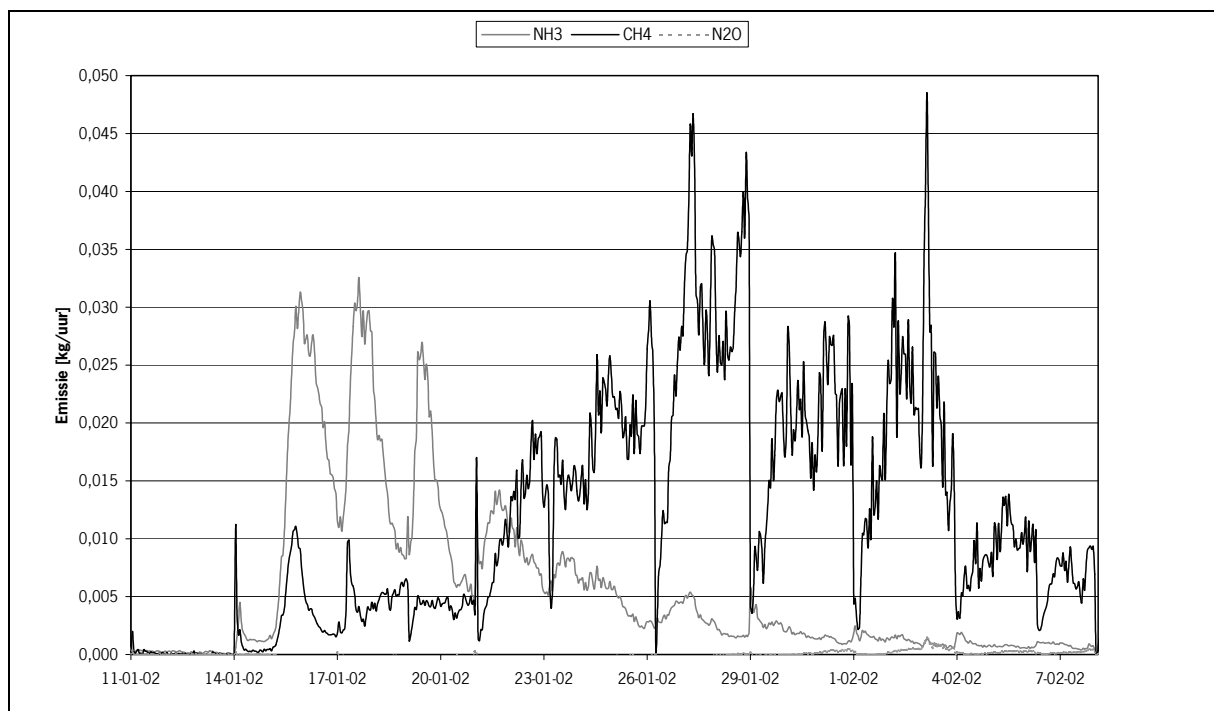
Hieruit blijkt dat de emissie van lachgas (N₂O) vrijwel nihil was. Alleen in de laatste twee ronden werd enige emissie vastgesteld. De kleine hoeveelheid die emitterde ontstond in de tweede helft van de composteering. De emissie van ammoniak (NH₃) was in ronde C1 duidelijk hoger dan in de andere ronden. Een verband met de correctie van de ventilatiedebieten lijkt onwaarschijnlijk omdat de emissie van methaan en kooldioxide in ronde C1 niet hoger zijn vergeleken met de andere ronden. De emissie van kooldioxide vertoont weinig variatie over de verschillende ronden. De emissie van methaan en waterdamp daarentegen verlopen grilliger. Vooral de methaanemissie in ronde C2 is hoger dan in de overige ronden.

In Figuur 7 is een vergelijking tussen de mestsoorten gemaakt voor de emissie van ammoniak en methaan. De uitstoot van ammoniak is iets hoger voor de mest uit Cranendonck terwijl de methaanemissie beduidend hoger is. Een mogelijke verklaring hiervoor is de grotere mestgift in absolute en relatieve zin tijdens de 'Cranendonck' ronden. Doordat meer mest werd toegediend is de ammoniakemissie groter en doordat meer mest per kg hooi wordt aangevoerd ontstaat met name in het tweede deel van de composteering gebrek aan zuurstof waardoor de methaanemissie hoger is.



Figuur 7: Gemiddelde emissie van de verschillende mestsoorten.

De totale emissies geven een beeld van verschillen tussen de verschillende ronden. Uit het verloop van de emissie tijdens een ronde is informatie over het verloop van het composteeringproces af te lezen. In Figuur 8 is het verloop van de uitstoot van methaan, ammoniak en lachgas tijdens ronde C1 weergegeven. Het verloop van de emissies van de verschillende stoffen is vergelijkbaar met de andere ronden. Het emissieverloop van deze ronden (inclusief het verloop van de CO₂ en H₂O uitstoot) is opgenomen in bijlage 3.



Figuur 8: Emissieverloop tijdens ronde C1 van ammoniak, methaan en lachgas

De emissie van alle gassen is tijdens de aanlooffase, waarin al wel hooi, stro en diatomeenaarde aanwezig is maar nog geen drijfmest is toegediend, minimaal. De emissie van ammoniak vertoont in de eerste helft van de compostering duidelijke pieken die samenvallen met het moment waarop de hoop wordt omgezet en nieuwe drijfmest wordt toegediend. Er is mest toegediend op 14, 17 en 21 januari. Tussendoor is de hoop op 19 januari omgezet zonder dat drijfmest is toegediend. Tijdens en na de toediening of het omzetten stijgt de uitstoot van ammoniak sterk. Alleen na de eerste keer toediening is de uitstoot nog beperkt omdat de hoop dan nog vrijwel niet is opgewarmd. Na het omzetten neemt in de loop van een aantal dagen de emissie weer af tot nieuwe drijfmest wordt toegediend. Nadat het toedienen is gestopt worden de pieken in de ammoniakuitstoot na het omzetten kleiner, maar blijven herkenbaar.

De uitstoot van methaan vertoont een ander patroon. Methaan is een product van een anaërobe omzetting van organische stof. Met andere woorden, de uitstoot van methaan is een indicatie voor een gebrek aan zuurstof tijdens het composteringsproces. Methaan is een schadelijk broeikasgas: de werking is 21 keer sterker die van een vergelijkbare hoeveelheid CO_2 . Methaan wordt gevormd in runderdrijfmest omdat het onder grotendeels zuurstofloze omstandigheden opgeslagen wordt. De meeste uitstoot van methaan vindt plaats in de tweede helft van de compostering. Tijdens het toedienen van drijfmest vertoont de uitstoot, net als die van ammoniak een piek, al is deze over het algemeen lager. Deze piek wordt veroorzaakt door het vrijkomen van het methaan dat aanwezig is in de drijfmest. In de tweede helft is de uitstoot van methaan duidelijk hoger dan die van ammoniak maar daalt de uitstoot juist tijdens en vlak na het omzetten van de hoop. Dit is verklaren doordat het volume van de composthoop in de tweede helft sterk vermindert. Daardoor zijn de beschikbaarheid van zuurstof in grote delen van de hoop onvoldoende en wordt methaan gevormd. Tijdens en vlak na het omzetten wordt weer zuurstof in de hoop gebracht zodat de methaanvorming stopt, maar omdat de structuur van de compost onvoldoende is komt deze kort na het omzetten weer opgang. Er zijn dus twee bronnen van methaanemissie te onderscheiden: in de eerste helft van de compostering met name na het toedienen van drijfmest methaan dat gevormd is in de drijfmest en door het toedienen vrijkomt en in de tweede helft van de compostering methaan dat gevormd is in de composthoop en waarvan de vorming afneemt door het omzetten van de hoop.

De uitstoot van lachgas (N_2O) is vrijwel te verwaarlozen en vindt in de tweede helft van de compostering plaats. Lachgas is een product van nitrificatie en denitrificatie. Basis voor deze twee processen, die elkaar min of meer opvolgen, is de ammoniak die in de mest aanwezig is of gevormd wordt door de afbraak van organische stof. Wanneer zuurstofgebrek ontstaat tijdens de, in principe aërobe, nitrificatie wordt lachgas gevormd. Ook wanneer de omstandigheden wat betreft temperatuur en pH niet optimaal zijn tijdens de daaropvolgende, overwegend anaërobe, denitrificatie ontstaat lachgas. Hoewel de totale emissie verwaarloosbaar is laat de uitstoot eenzelfde patroon zien als die van methaan: dalende emissies tijdens en vlak na het omzetten van de composthoop. Hoewel de patronen in de uitstoot vergelijkbaar zijn, treden ook verschillen op tussen de verschillende ronden (zie bijlage 3). De emissieniveaus van ammoniak en methaan verhouden zich per ronde anders. De verhoogde totale emissie van methaan in ronde C2 is vooral veroorzaakt door een periode van erg hoge methaanemissie tussen

22 maart en 27 maart als gevolg van onvoldoende beschikbaarheid van zuurstof. Het patroon van de ammoniakemissie was in deze ronde juist veel vlakker dan in de overige rondes.

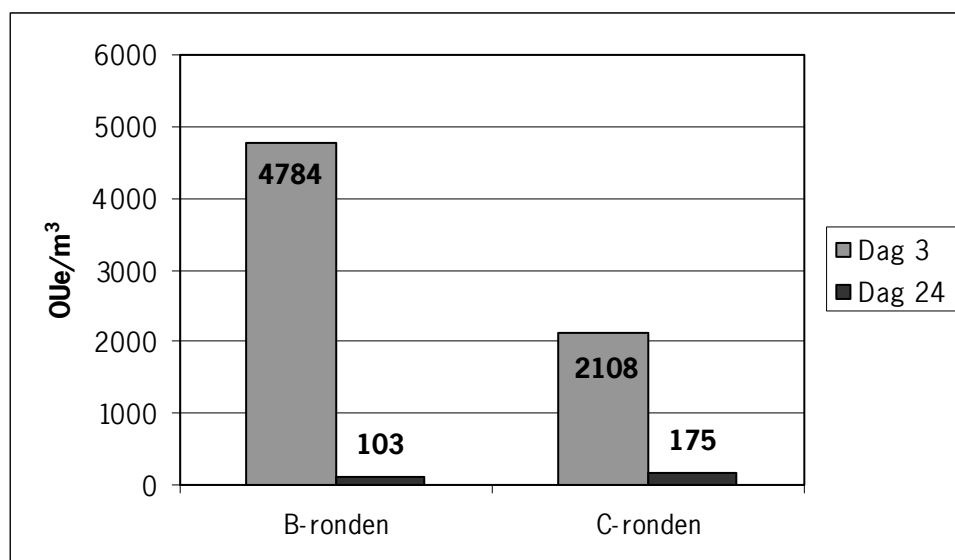
3.1.5.2 Geur

De resultaten van de geurconcentratie metingen zijn weergegeven in Tabel 13

Tabel 13: Overzicht van gemeten geurconcentraties [Odour Units/m³]

Meetmoment	Ronde B1	Ronde C1	Ronde B2	Ronde C2
Dag 3	9205	3253	362	962
Dag 24	100	83	106	266

Duidelijk blijkt dat de metingen op dag 24 van de compostering nauwelijks nog geur gemeten wordt. Op dag 3 na de start van de compostering daarentegen komen hoge geurconcentraties voor. De verschillen tussen de verschillende rondes zijn echter groot. Daardoor hebben de verschillen tussen de twee mestsoorten die in Figuur 9 weergegeven zijn weinig betekenis. Er is geen duidelijke reden te geven voor de grote verschillen tussen de metingen op dag 3. In alle gevallen is net na de toediening van drijfmest een monster genomen.



Figuur 9: Gemiddelde geurconcentratie van de twee mestsoorten.

De bepaling van de geurconcentratie in het monster geeft alleen inzicht in de hoeveelheid geurstoffen die op een bepaald moment uitgestoten zijn. Een beoordeling van de kwaliteit van de geur wordt gegeven door de hedonische waarde (zie Tabel 14). De aanduidingen H1 en H2 geven de mate van onaangenaamheid van de geur aan, waarbij H1 staat voor 'zeer licht onaangenaam' en H2 voor 'licht onaangenaam'. De waarden in de tabel geven de geurconcentratie aan waarbij deze mate van onaangenaamheid is opgetreden. Zo wordt de geur in ronde B1 op meetmoment 1 bij een concentratie van 24,5 OU als licht onaangenaam ervaren terwijl dat in ronde B2 als bij 14,6 OU is.

Tabel 14: Hedonische waarde van de luchtmonsters.

Meetmoment		Ronde B1	Ronde C1	Ronde B2	Ronde C2
Dag 3	H1	5,9	7,0	3,8	6,6
	H2	24,5	18,2	14,6	21,9
Dag 24	H1	- ¹	-	-	10,4
	H2	-	-	-	39,1

¹: geen resultaat van hedonische meting door lage geurconcentratie

In tegenstelling tot de emissiebepalingen van ammoniak en broeikasgassen is bij de metingen van geuremissie geen uitspraak mogelijk over de totale emissie omdat de gebruikte meetmethode geen continue metingen toelaat en omdat op slechts twee momenten geurmonsters zijn genomen. De momenten (dag 3 en dag 24 na aanvang van de compostering) zijn wel zodanig gekozen dat een beeld wordt gekregen van de geurconcentraties onder

verschillende omstandigheden. Op dag 3 (net na het toedienen van mest) is de geurconcentratie in de ventilatielucht naar verwachting hoog terwijl later tijdens de compostering minder geuremissie te verwachten is doordat in dat stadium geen drijfmest meer wordt toegediend.

Over het algemeen kan gesteld worden dat geurstoffen ontstaan bij een compostering onder ongunstige omstandigheden, met name bij gebrek aan zuurstof (anaërobie). Hoewel uit paragraaf 3.1.5.1 blijkt dat onder dezelfde omstandigheden de methaanconcentratie toeneemt, is de geuremissie in het tweede deel van de compostering laag. De uitkomsten

3.1.6 Massa- en mineralenbalans

In paragraaf 3.1.1 is al de massabalans van het composteringsproces tijdens de verschillende ronden gegeven. In deze paragraaf zal verder ingegaan worden op de deelbalansen van drogestof, asrest, organische stof, stikstof, fosfaat en kalium. Stikstof speelt een grote rol in de dynamiek van het composteringsproces en deze balans is daarom omgeven met een aantal onzekerheden. De grootste onzekerheid wordt daarin gevormd door de emissie van N₂ (stikstofgas). Door de hoge achtergrondconcentratie is de verschilconcentraties tussen in- en uitgaande lucht met de gebruikte apparatuur niet te meten. Fosfaat neemt vrijwel niet deel in de composteringsprocessen. De fosfaatbalans is daarom aan veel minder dynamiek onderhevig en kan daardoor als 'controlebalans' gebruikt worden. Op basis van de gegevens over aangevoerde massa en de samenstelling daarvan (zie paragraaf 3.1) kunnen de gegevens in Tabel 15 worden berekend.

Tabel 15: Aanvoer, afvoer en verlies in kg en verlies als percentage van de aanvoer.

	Ronde	DS	Asrest	OS	N-Min	N-Org	N-totaal	Fosfaat	Kalium
Aanvoer	B1	1430,6	209,0	1222,1	9,4	18,3	27,7	10,6	43,1
	C1	1665,9	288,0	1377,9	12,0	25,0	36,9	14,2	52,0
	B2	1168,6	217,0	951,9	7,9	20,1	28,0	11,3	38,8
	C2	1453,0	184,6	1268,7	9,9	24,4	34,2	12,3	36,6
Afvoer	B1	855,4	254,8	599,6	0,9	21,3	22,1	10,2	37,0
	C1	1050,5	351,1	700,0	1,4	26,1	27,6	14,0	44,4
	B2	902,2	297,2	604,0	0,9	21,0	21,9	11,9	34,8
	C2	888,7	201,6	686,6	1,1	25,1	26,1	12,0	32,1
Verlies	B1	575,2	-45,8	622,5	8,5	-3,0	5,6	0,4	6,1
	C1	615,4	-63,1	677,9	10,5	-1,1	9,3	0,2	7,6
	B2	266,4	-80,2	347,9	7,0	-0,9	6,1	-0,6	4,0
	C2	564,2	-17,0	582,1	8,8	-0,6	8,1	0,2	4,5
Verlies-%	B1	40,2%	-21,9%	50,9%	90,4%	-16,4%	20,3%	3,8%	14,1%
	C1	36,9%	-21,9%	49,2%	88,1%	-4,4%	25,3%	1,5%	14,6%
	B2	22,8%	-36,9%	36,6%	89,1%	-4,3%	21,7%	-5,3%	10,4%
	C2	38,8%	-9,2%	45,9%	89,0%	-2,5%	23,6%	1,7%	12,2%

In deze tabel is het lekvocht als afvoerpost meegenomen en niet als verliespost. Ook in de praktijk is het meestal mogelijk, en vaak zelfs verplicht, om de compostering te laten plaatsvinden op een vloestofdichte vloer met een afvoerput. Het opgevangen lekvocht kan weer toegediend worden aan de composthoop en gaat niet verloren. Gemiddelde werd bijna de helft van de organische stof omgezet tijdens de compostering. In ronde B2 lag dat percentage lager dan in de andere ronden. Dit duidt op een slechter verloop van de compostering, iets dat ook al bleek uit het emissieverloop beschreven in paragraaf 3.1.5.1.

De asrest (het anorganische deel van de droge stof) daarentegen neemt toe tijdens de compostering. Het anorganische deel van de droge stof bestaat waarschijnlijk voor een groot deel uit grondresten en neemt niet deel aan het composteringproces. De toename kan daarom niet veroorzaakt worden door het composteringsproces zelf maar is waarschijnlijk te wijten aan de heterogene verdeling van de grond in de grasbalen en de insleep van grond tijdens het transport van gras en compost en het omzetten van de composthoop.

De toename van de asrest en de afname van de organische stof moeten samen de afname van de droge stof dekken. Dit blijkt inderdaad het geval te zijn: het verschil tussen het verlies van droge stof aan de ene kant en het verlies van organisch stof en de toename van asrest aan de andere kant bedroeg in hoop B1 -1,5 kg, voor hoop

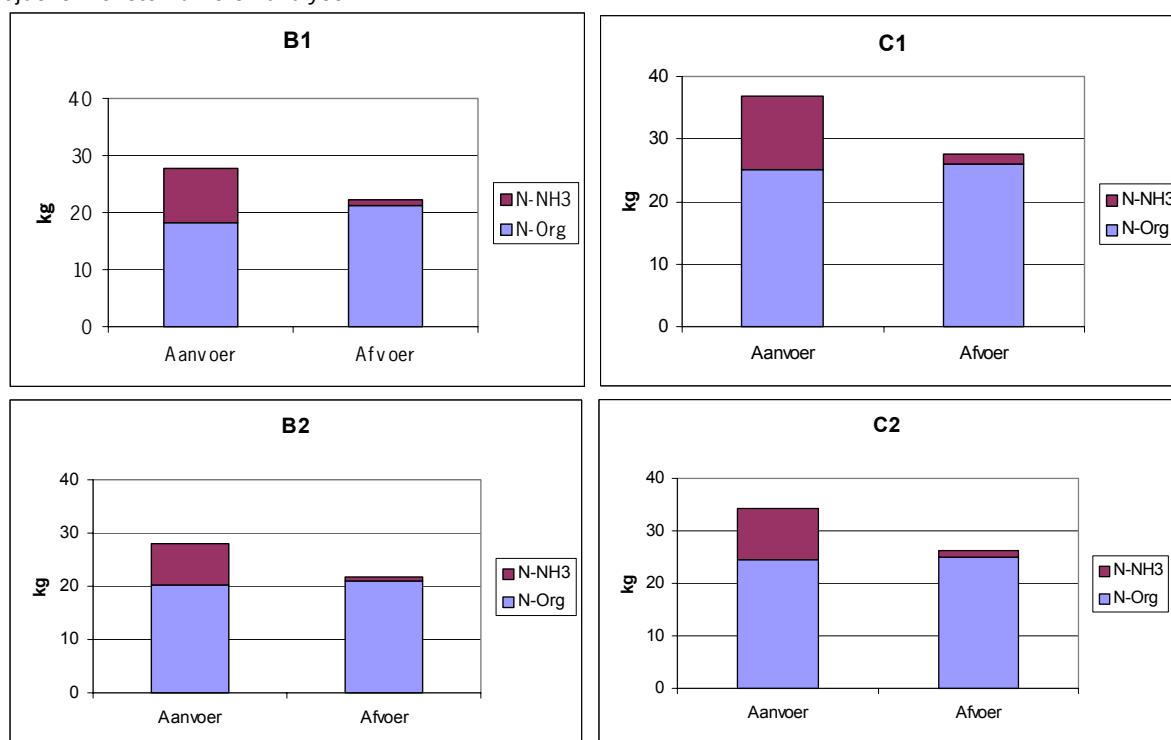
C1 0,6 kg, voor hoop B2 -1,3 kg en voor hoop C2 -0,9 kg. Deze verschillen worden waarschijnlijk veroorzaakt door meetfouten tijdens monsternamen en analyse.

In alle gevallen gaat het grootste deel van de minerale stikstof verloren. Gedeeltelijk als emissie maar gedeeltelijk ook omdat het wordt ingebouwd in nieuw bacterieel leven. De hoeveelheid organische stikstof neemt namelijk toe wat dus waarschijnlijk veroorzaakt wordt door de groei van het bacteriënpopulatie die voor de omzetting van de organische stof (de compostering) verantwoordelijk is.

Het totale stikstofverlies ligt tussen de 20,3 en 25,3% van de aangevoerde hoeveelheid. Ongeveer een vijfde tot een kwart van de aangevoerde stikstof gaat dus verloren. Het stikstofverlies en de verhouding van minerale en organische stikstof in het aangevoerde materiaal en de afgevoerde compost en lekvocht is weergegeven in Figuur 10.

Het verlies aan kalium ligt tussen de 10 en 15% van de aangevoerde hoeveelheid. Kali neemt niet deel in het compostingsproces maar is een goed in water oplosbaar zout. De concentraties in het lekvocht waren dan ook relatief hoog. De verliezen zouden daarom goed terug te voeren zijn op een niet volledige opvang van het lekvocht.

In de fosfaatbalans zijn de verliezen veel kleiner. Ze bedragen niet meer dan 5% van de aangevoerde hoeveelheid. In ronde B2 is de hoeveelheid fosfaat toegenomen. Fosfaat is slecht oplosbaar in water en grotendeels organische gebonden. De concentraties in het lekvocht waren dan ook klein. Fosfaat is nauwelijks betrokken bij het compostingsproces. De verliezen zijn daarom waarschijnlijk veroorzaakt door meeton nauwkeurigheden tijdens monsternamen en analyse.



Figuur 10: Overzicht van verhouding tussen minerale en organische stikstof in de aan- en afvoer van de verschillende hopen.

Omdat het lekvocht al is meegenomen als afvoerpost blijft één duidelijke verliespost over namelijk de gasvormige emissies. In Tabel 16 wordt daarom een overzicht gegeven van het aandeel van de totale emissie in het massaverlies

Tabel 16: Aandeel emissies in massareductie

	Ronde B1	Ronde C1	Ronde B2	Ronde C2
Verlies	2476	2663	2360	2608
Emissies	1132	1265	1408	1560
Verklaard %	46%	48%	60%	60%
Onverklaarde rest	1345	1398	950	1048

De absolute verliezen tijdens het composter door emissies liepen over de verschillende composteringsronden steeds verder op. Gedeeltelijk kan dit verschil verklaard worden door de oplopende gemiddelde omgevingstemperatuur gedurende de rondes, maar ook het verloop van het composteringsproces is een oorzaak van de verschillen. De emissie van methaan en kooldioxide was in de laatste ronde bijvoorbeeld hoger dan in de overige rondes. De gasvormige emissies bleken in de eerste twee rondes globaal de helft van het verlies te verklaren. In de laatste twee rondes lag dit percentage op 60%. Omdat zowel stikstof als koolstof op verschillende plekken en tijdstippen tijdens het composteringsproces vrijkomen is in Tabel 17 een koolstof- en stikstofbalans weergegeven.

Tabel 17: Koolstof- en stikstofbalans van de vier composteringsronden [kg].

	Ronde B1		Ronde C1		Ronde B2		Ronde C2	
	C	N	C	N	C	N	C	N
Totaal aanvoer	611,0	27,7	689,0	36,9	476,0	28,0	634,4	34,2
Totaal afvoer	299,8	22,1	350,0	27,6	302,0	22,0	343,3	26,1
Verlies	311,3	5,7	338,9	9,3	174,0	6,1	291,1	8,1
Emissies:								
- C in CO ₂	107,1		113,6		110,7		119,9	
- C in CH ₄	4,9		5,9		6,0		11,4	
- N in NH ₃		2,3		3,2		2,2		2,1
- N in N ₂ O		0,00		0,00		0,03		0,05
Totaal emissies	111,9	2,3	119,5	3,2	116,7	2,3	131,3	2,1
Onverklaarde rest ...	199,4	3,4	219,4	6,2	57,3	3,8	159,8	6,0
... als % van verlies	64%	60%	65%	66%	33%	63%	55%	74%
... als % van aanvoer	33%	12%	32%	17%	12%	14%	25%	17%

Uit de tabel wordt duidelijk dat de onverklaarbare rest koolstof duidelijk groter is dan de onverklaarbare rest stikstof. Voor ongeveer eenderde van de aangevoerde koolstof is geen sluitende verklaring te geven waarbij echter ronde B2 een duidelijk afwijkende (lagere) waarde heeft. Dat aandeel ligt bij stikstof lager en is stabiel over de rondes heen. Voor ongeveer 15% van de aangevoerde stikstof is geen sluitende verklaring te geven. Het is echter vrijwel zeker dat een gedeelte daarvan in de vorm van N₂ (stikstofgas) is uitgestoten.

3.2 Compostkwaliteit

3.2.1 Kiemkracht onkruidzaden

Uit de standaardtoets (KIWA-keur voor certificering van compost) voor de kiemkracht van onkruidzaden blijkt dat gedurende de onderzoeksperiode geen zaad ontkiemde in de runderdrijfmest, in de daarvan gemaakte compost en in de groencompost. Dit resultaat is opmerkelijk omdat de temperatuur tijdens de compostering te laag was (Tabel 10) om een goede vernietiging van de zaden te realiseren. Het is evenwel mogelijk dat in de runderdrijfmest de aanwezigheid van (kiemkrachtig) zaad beperkt is vanwege het aan de koeien gevoerde winterrantsoen. De kiemkracht van de zaden is door conservering van het ruwvoer en de gang door het spijsverteringskanaal al zover aangetast dat kieming uitblijft. Ook kunnen de resultaten mede het gevolg van hoge waarden voor pH en EC in de geteste mengsels van veenmos en mest respectievelijk compost. Dit kan de kieming van eventueel aanwezig zaad hebben geremd.

3.2.2 Zware metalen

De resultaten van de bepaling van de zware-metalengehalten zijn vermeld in Tabel 18. In de tabel zijn ook de streefwaarden voor compost opgenomen zoals die het Besluit Overige Organische Meststoffen (BOOM) zijn gesteld.

Doordat het rijpen van de compost een aantal weken duurde was het wegens tijdgebrek niet mogelijk om van de ronden C2 en B2 ook monster van de gerijpte compost te nemen.

Tabel 18: Gehalten aan koper (Cu), zink (Zn), nikker (Ni), lood (Pb) en chroom (Cr) in verschillende compostsoorten in mg/kg ds.

Ronde	Compost	Cu	Zn	Ni	Pb	Cr
B1	Vers	23	186	5,7	5,5	10
	Gerijpt	28	150	5,9	6,1	10
C1	Vers	39	193	7	7,5	10,7
	Gerijpt	39	245	6,5	7,9	9,3
B2	Vers	27,2	117,8	5,3	10,6	9,7
C2	Vers	34,4	189,0	6,0	3,8	6,6
Referentie	Groencompost	30	115	7,1	38,6	22,7
BOOM	Schone compost	60	200	20	100	50
	Zeer schone compost	25	75	10	65	50

De resultaten laten zien dat alleen de gerijpte compost uit de ronde C1 de norm voor zink in de categorie 'schone compost' overschrijdt. Voor de ander zware metalen geldt dat alle soorten compost beneden de grens voor 'schone compost' vallen. Alle geteste soorten compost overschrijden de zinknorm voor 'zeer schone compost' en behalve verse compost uit ronde B1 ook de kopernorm voor deze categorie. Voor de overige zware metalen vindt geen overschrijding van de normen voor 'zeer schone compost' plaats. Gemiddeld voldoet de compost aan de normen uit het BOOM-besluit voor 'schone compost'.

In Tabel 19 is de aanvoer van zware metalen uit dunne rundermest vergeleken met die uit compost. Ook is berekend hoeveel zware metalen aanwezig zijn in een vracht die overeenkomt met 225 kg stikstof per hectare.

Tabel 19: Vergelijking van de concentratie en aanvoer van zware metalen in mest en compost op basis van een stikstofaanvoer van 225 kg/ha.

	Concentratie [mg/kg vers]						Compost [t]	Aanvoer [kg/ha]				
	Ni	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni		Pb	Cr	Cu	Zn	
Drijfmest B1	1,2	0,5	0,9	15,6	12,9	62	74	31	56	967	800	
Drijfmest C1	0,7	0,5	0,8	4,2	21,5	62	43	31	50	260	1333	
Drijfmest B2	1,1	0,4	0,7	13,2	12,7	62	68	25	43	818	787	
Drijfmest C2	0,6	0,3	0,4	6,9	16,1	62	37	19	25	428	998	
Gemiddelde drijfmest							56	26	43	618	980	
Compost B1 (vers)	1,2	1,2	2,1	4,9	39,1	45	54	54	95	221	1760	
Compost B1 (gerijpt)	1,3	1,4	2,3	6,4	34,0	45	59	63	104	288	1530	
Compost C1 (vers)	1,6	1,7	2,4	8,7	43,4	45	72	77	108	392	1953	
Compost C1 (gerijpt)	1,5	1,9	2,2	9,3	57,7	45	68	86	99	419	2597	
Compost B2 (vers)	1,1	2,2	2,0	5,5	23,9	45	50	99	90	248	1076	
Compost C2 (vers)	1,2	0,8	1,3	6,9	37,8	45	54	36	59	311	1701	
Gemiddelde compost							59	69	92	313	1769	
Groencompost	3,9	21,4	12,6	16,8	63,4							

Uit deze resultaten blijkt dat de aanvoer van organische stof nauwelijks een negatieve invloed heeft op de hoeveelheid zware metalen. Ongeveer 88% van de zware metalen in de compost is afkomstig uit de runderdrijfmest. Blijkbaar vindt op het melkveebedrijf een circulatie plaats van zware metalen van grond via voer en mest naar grond. Uit de vergelijking van de zware metalenaanvoer met mest en compost, uitgaande van een gift van 225 kg N per ha, blijkt dat met compost pakweg twee keer zoveel lood, chroom en zink wordt aangevoerd als met mest en de aanvoer van koper pakweg de helft is van die met mest; de vracht nikkel is bij de mest- en compostgiften vergelijkbaar.

3.2.3 Stabiliteit van de organische stof

In Tabel 20 zijn de respiratiesnelheden van een aantal veelvoorkomende organische materialen in verschillende afbraakstadia gegeven zoals die met de gestandaardiseerde respiratiemeting bepaald zijn. De respiratiesnelheid

van vers organisch materiaal ligt ruim boven 50 mmol O₂ per kg organische stof per uur. Na de intensieve fase van een goed verlopend composteringproces daalt de respiratiesnelheid binnen een week naar 10-15 mmol O₂ per kg organische stof per uur en na 3 weken tot 6-8 mmol O₂ per kg organische stof per uur. Na een aërobe opslag van circa 5 maanden treedt een verdere daling op naar 3-5 mmol O₂ per kg organische stof per uur. Zeer stabiel organisch materiaal zoals donkerveen heeft een respiratiesnelheid <1 mmol O₂ per kg organische stof per uur.

Tabel 20: Respiratiesnelheid van verschillende soorten organisch materiaal onder gestandaardiseerde condities in mmol O₂ per kg organische stof per uur.

Type organisch materiaal	Respiratiesnelheid	±
Verse mest	>50	
Vers GFT-afval	>50	
Verse GFT-compost	6	2
GFT compost na 5 maanden opslag	3	1
Groencompost	7	3
Groencompost na 5 maanden opslag	3,5	
Organisch materiaal in bodem	2	
Licht veen (vers)	1,7	0,2
Donkerveen (oud)	0,6	0,1

De gemeten respiratiesnelheid van de mest- en compostmonsters uit dit onderzoek zijn in Tabel 21 weergegeven. Duidelijk is dat onvoldoende stabilisatie is opgetreden tijdens de compostering. Dit is ook niet te verwachten op basis van het drogestofgehalte en visuele inspectie van de monsters. De porositeit is namelijk veel te laag om een goede beluchting van de hoop te krijgen. De groencompost die als referentie diende heeft een hoge stabiliteit en is waarschijnlijk al enkele maanden opgeslagen geweest.

Tabel 21: Respiratie- en afbraaksnelheid van mest- en compostmonsters in mmol O₂ per kg organische stof per uur.

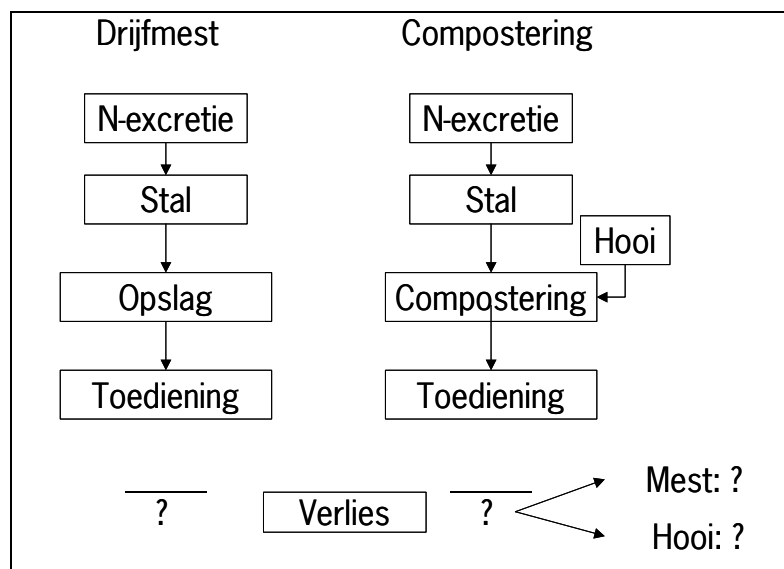
Monster	Droge stofgehalte [#] (% vers gewicht)	Organische stofgehalte [#] (% DS)	Respiratiesnelheid		Afbraaksnelheid (% OS/dag)
				±	
Drijfmest B1	7,95	76,6	40	20	2,9
Drijfmest C1	11,5	74,4	42	6	3,0
Drijfmest B2	7,41	79,2	85	7	6,1
Drijfmest C2	7,91	79,9	200	40	14
Groencompost	55,4	23,6	2,6	0,2	0,19
Compost B1 vers	21,1	67,7	47	1	3,4
Compost B1 gerijpt	22,7	65,6	53	5	3,8
Compost C1 vers	22,5	63,5	57	9	4,1
Compost C1 gerijpt	23,5	63,9	52	1	3,7
Compost B2 vers	20,3	65,8	71	1	5,1
Compost C2 vers	20,0	76,7	66	1	4,7

[#]analyseresultaten Centraal Laboratorium, Sectie Bodemkwaliteit, Wageningen Universiteit

4 Praktijktoeepassing

Het op peil houden van het organische stofgehalte in de bodem is een onderwerp dat vooral in zandgebieden erg in de belangstelling staat. Om de milieubelasting door hoge stikstofverliezen te beperken is de stikstofgift per hectare de afgelopen decennia sterk teruggelopen. Dierlijke mest is echter niet alleen een bron van mineralen maar ook van organische stof. Door de teruglopende giften per hectare is ook het organische stofgehalte in de bodem gedaald. Dit heeft consequenties voor het stikstof- en vochtleverend vermogen, het bodemleven en uiteindelijk voor de gewasopbrengst. De aanvoer van compost wordt gezien als een methode om de terugloop van het organische stofgehalte te vertragen of een halt toe te roepen. Om tegelijkertijd niet ook kunstmeststikstof aan te moeten voeren op het bedrijf behoort het zelf maken van compost tot de mogelijkheden. Dan moet het stikstofverlies op het gehele bedrijf als gevolg van de compostering echter niet te groot zijn. Om dat te kunnen beoordelen is naast kennis over de verliezen tijdens compostering ook kennis over de verliezen op het hele bedrijf nodig. Een bedrijf met compostering kan dan vergeleken worden met een bedrijf waarop een drijfmeststelsel wordt toegepast.

In Figuur 11 zijn de verliesposten weergegeven van beide systemen. In het drijfmeststelsel kunnen verliezen optreden in de huisvesting van de dieren en tijdens de opslag en toediening van mest. In een systeem met compostering zijn ook de verliezen uit de stal van toepassing maar zullen de verliezen uit de opslag niet of nauwelijks voorkomen omdat de mest zo snel mogelijk wordt gecomposteerd. Ook bij de toediening van compost kunnen verliezen optreden.



Figuur 11: Overzicht van verliesposten in een drijfmeststelsel en een systeem met compostering.

Doel van deze paragraaf is een inschatting te maken van de verschillende verliesposten om zo het totale stikstofverlies voor een bedrijf met of zonder compostering te kunnen vergelijken.

Hiervoor is een fictief bedrijf gekozen waarvan de uitgangspunten zijn weergegeven in Tabel 22.

Tabel 22: Uitgangspunten voor verliesberekeningen

	Waarde	Eenheid
Aantal koeien	80	
Melkproductie	8000	kg * dier ¹ * jaar ¹
Rantsoen	Gras/maïs	50/50
Weidesysteem melkvee	Beperkt	
Weidesysteem pinken en kalveren	Onbeperkt	
Weideperiode (incl. overgang)	175	Dagen
Stalperiode	190	Dagen
Vervanging	30	%
Aantal pinken (>1 jaar)	27	
Aantal kalveren (< 1 jaar)	27	

De totale mestproductie en stikstofuitstoot is berekend en weergegeven in Tabel 23. Daarvoor zijn gegevens uit de KWIN Veehouderij gebruikt (KWIN, 2003).

Tabel 23: Overzicht mestproductie en stikstofuitscheiding per jaar.

	Mestproductie [m ³]	N-excretie [kg]
Melkvee	1286	6335
Pinken	127	624
Kalveren	61	299
Totaal	1474	7258

4.1 Drijfmeststelsysteem

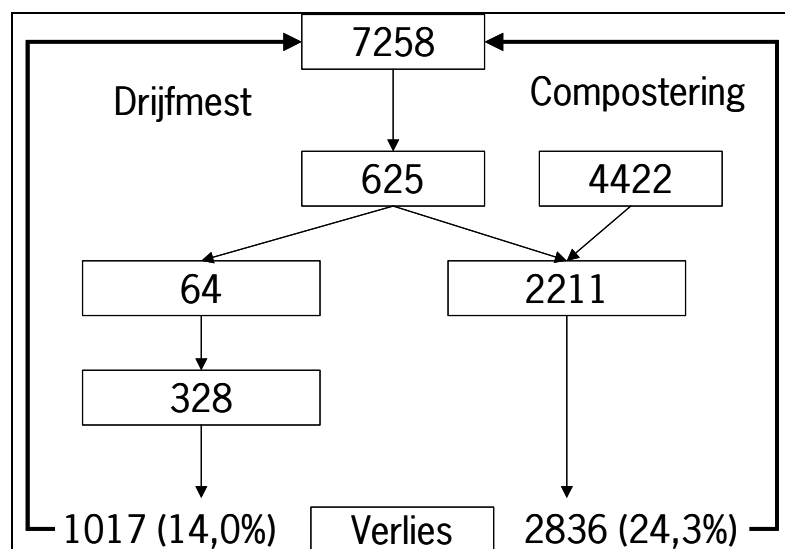
Het stikstofverlies vanuit de stal vindt voor het grootste deel plaats in de vorm van ammoniak. Bij de inschatting van de stalemissie is uitgegaan van een ligboxenstal met roostervloer en kelderopslag onder de looppaden. In de stal zijn zowel melkkoeien als jongvee gehuisvest. Groen label normen gaan uit van een emissie van 8,0 kg ammoniak per dierplaats per stalperiode van 190 dagen. Wanneer ook de weideperiode daarbij betrokken wordt stijgt de emissie naar 9,5 kg NH₃ per dierplaats per jaar. Het verlies uit de huisvesting bedraagt dan 625 kg N per jaar.

Voor de emissie uit de mestopslag buiten de stal wordt een emissie van 0,96% van de hoeveelheid opgeslagen stikstof aangehouden. Het totale verlies aan stikstof per jaar bedraagt hier 64 kg.

Bij aanwending tenslotte wordt gerekend met een emissie van 10% van de totale hoeveelheid toegediende ammonium stikstof. Ervan uitgaande dat alle drijfmest die in een jaar geproduceerd is ook wordt toegediend komt het stikstofverlies door toedieningen op 328 kg uit. Het totale verlies in het drijfmeststelsysteem bedraagt daardoor 1017 kg oftewel 14,0% van de totale N-excretie.

4.2 Composteringssysteem

Bij toepassing van compostering is ervan uitgegaan dat de emissie uit de huisvesting gelijk in vergelijking met het drijfmeststelsysteem. Daarna wordt de mest echter gebruikt voor compostering. Daarvoor wordt hooi aangevoerd dat stikstof bevat. Op basis van de verhoudingen zoals die in beschreven onderzoek gevonden zijn wordt met het hooi 4422 kg stikstof aangevoerd. Bij de compostering gaat stikstof verloren. Op basis van de resultaten van de composteringproef is gerekend met een verlies van 20% van de voor compostering aanwezige stikstof. Het verlies door compostering bedraagt daardoor 2211 kg stikstof. Omdat ervan uit wordt gegaan dat geen stikstof meer uitgestoten wordt tijdens het toedienen van de compost komt het totale verlies daarmee op 2836 kg stikstof; 24,3% van de aangevoerde stikstof (inclusief aanvoer van stikstof met hooi) en 39,1% van de stikstofexcretie door de veestapel (dus exclusief aanvoer van stikstof met hooi). In Figuur 12 zijn de verliezen in de twee systemen schematisch weergegeven.



Figuur 12: Schematische weergave van stikstofverliezen in drijfmeststelsysteem en composteringssysteem

Het verlies aan stikstof is dus groter wanneer de drijfmest gecomposteerd wordt dan wanneer de mest als drijfmest wordt opgeslagen en toegediend.

Op basis van stikstofverliezen is het voor een veehouder niet aantrekkelijk om zijn drijfmest op deze manier te composteren. De verliezen zullen namelijk door de aankoop van kunstmeststikstof gecompenseerd moeten worden. Over andere bemestingseigenschappen, met name het effect van toepassing van compost op het organische stofgehalte in de bodem, kan op basis van dit onderzoek geen uitspraak gedaan worden.

5 Conclusies

5.1 Balansmetingen

Uit de resultaten wordt duidelijk dat de doelen van het onderzoek (opstellen balans, bepalen mineralenverliezen en bepalen compostkwaliteit) behaald zijn. Uit de beschrijving van de composteringmethode kan geconcludeerd worden dat hier sprake is van een intensieve manier van composteren. Het materiaal wordt regelmatig toegevoegd en omgezet en het proces wordt na vier weken als voltooid beschouwd. Toch vindt de compostering niet onder geconditioneerde omstandigheden plaats zoals meestal het geval is bij intensieve compostering wat betreft regeling van procestemperatuur en samenstelling van in- en uitgaande luchtstromen. De kans op verlies van nutriënten en de uitstoot van schadelijke gassen is bij intensieve compostering veel groter dan bij extensieve compostering. Uit de resultaten van de balansmetingen blijkt ook dat de stikstofverliezen aanzienlijk zijn en tussen 20 en 25% van de aangevoerde hoeveelheid stikstof liggen. Vergeleken met andere intensieve processen is dit redelijk te noemen. Echter bij extensieve compostering zijn veel betere resultaten op dit gebied te behalen terwijl bij geconditioneerde intensieve compostering voorkomen wordt dat deze verliezen in een voor het milieu schadelijke vorm plaatsvinden.

Vooraf tijdens de tweede fase van het proces vindt uitstoot van de broeikasgassen methaan en lachgas plaats. De laatste in erg kleine hoeveelheden. Beide zijn het gevolg van ongunstige procesomstandigheden in de tweede helft van het proces. Vooral de beschikbaarheid van voldoende zuurstof in alle delen van de composthoop is een probleem. Dit komt vooral door het gebruik van hooi. De structuur van hooi is te zwak om gedurende het hele proces de composthoop voldoende luchtig te houden waardoor zuurstof tot in de kern door kan dringen. Gebruik van andere materialen die langer structuur behouden is aan te bevelen.

Uit de resultaten van de balansmetingen komen geen duidelijke verschillen tussen de gebruikte mestsoorten naar voren. Het gebruik van drijfmest waaraan, via het ruwvoer, FIR is toegevoegd heeft in deze experimenten dus niet geleid tot andere resultaten.

Uit de praktijktoepassing blijkt dat het stikstofverlies bij het verwerken van drijfmest tot compost groter is dan bij traditionele opslag en toediening van de drijfmest.

5.2 Compostkwaliteit

Op grond van de resultaten van het kwaliteitsonderzoek van de gemaakte compost kan worden geconcludeerd dat het niet waarschijnlijk is dat de aanvoer van organische stof van buiten het bedrijf tot milieukundige problemen leidt. In een vergelijking van drijfmest en de uit aangevoerd gras en drijfmest gemaakte compost bleek geen verhoogde kieming van onkruidzaden. Wat de zware metalen gehalten betreft voldoet de gemaakte compost over het algemeen aan de normen van het BOOM. Incidenteel is een overschrijding van de zinknorm aangetroffen. Bij landbouwkundig gebruik van de compost is de extra zware metalen vracht als gevolg van het gebruik van gras van buiten het bedrijf verwaarloosbaar. Uit de resultaten van de stabiliteitstest van de compost volgens de Oxitop[®] methode moet worden geconcludeerd dat de stabiliteit van de gemaakte compost onvoldoende is om te kunnen spreken van 'compost'. Dit geldt zowel voor de verse als voor de gerijpte compost. Er zijn aanwijzingen dat anaërobe omstandigheden hebben geleid tot rotting in plaats van compostering.

Literatuur

Dooren, H.J.C. van, M.C. Hanegraaf, A.G. Evers, M.H.A. de Haan, 2001, Composteren van dunne mest op melkveebedrijven, Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad, Rapport 225, 51 p.

Haug, R.T., 1993, The practical handbook of compost engineering, Lewis Publishers, Boca Raton, 717 p.

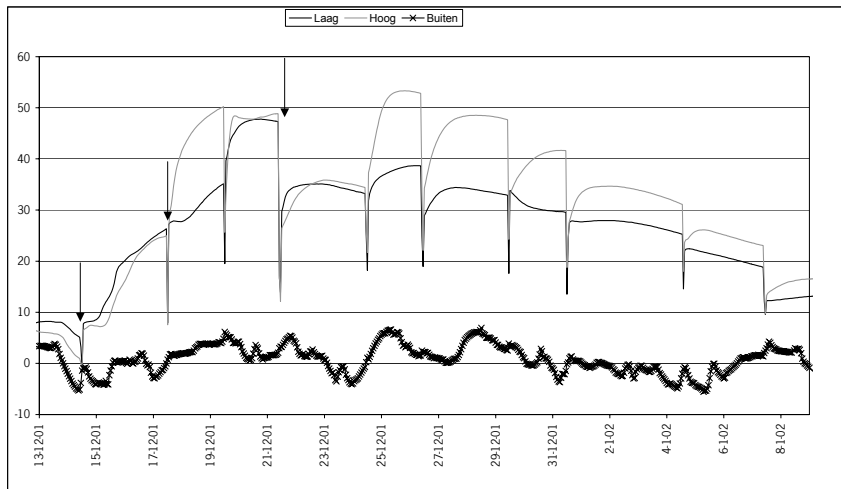
Ogink, N.W.M., P.N. Lens, 2001, Geuremissie uit de veehouderij. Overzichtsrapportage 1996-1999. IMAG, Wageningen, Rapport 2001-14, 28 p.

Bijlagen

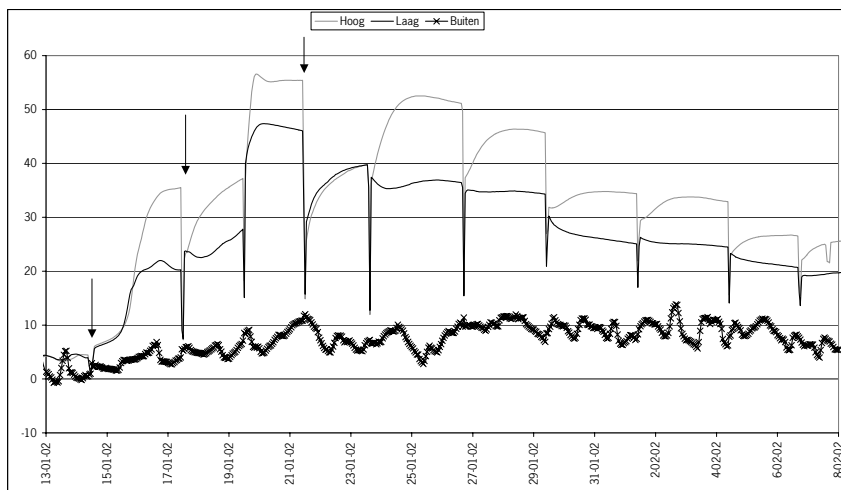
Bijlage 1. List of headings of tables and figures

- Figure 1:** Schematic representation of the composting process (After: Haug, 1993).
- Figure 2:** View from above and from the left side of the composting shed.
- Figure 3:** Heap dimensions and location of temperature sensors.
- Figure 4:** Volume reduction of both kinds of slurry.
- Figure 5:** Temperature in compost heap and in composting shed during round C2
- Figure 6:** Pressure differences between inside and outside composting shed in hPa
- Figure 7:** Average emissions of different kinds of slurry
- Figure 8:** Emissions of ammonia, methane and nitrous oxide during round C1.
- Figure 9:** Level of odour concentration of both slurry types.
- Figure 10:** Ratio of mineral and organic nitrogen in incoming and outgoing materials of different rounds.
- Figure 11:** Possible losses in a farming system with slurry compared to one with compost.
- Figure 12:** Calculated losses in a farming system with slurry compared to one with compost.
- Figure 13:** Temperature during round B1.
- Figure 14:** Temperature during round C2.
- Figure 15:** Temperature during round B2.
- Figure 16:** Emissions of ammonia, methane and nitrous oxide during round B1.
- Figure 17:** Emissions of ammonia, methane and nitrous oxide during round B2.
- Figure 18:** Emissions of ammonia, methane and nitrous oxide during round C2.
- Figure 19:** Emission of water vapour and carbon dioxide in round B1.
- Figure 20:** Emission of water vapour and carbon dioxide in round C1.
- Figure 21:** Emission of water vapour and carbon dioxide in round B2.
- Figure 22:** Emission of water vapour and carbon dioxide in round C2.
- Table 1:** Kind of slurries used in experiment with starting dates of each round
- Table 2:** Analyses of composting materials.
- Table 3:** Incoming material for composting in kg
- Table 4:** Average content of incoming composting materials in g/kg product.
- Table 5:** Outgoing materials after composting in kg.
- Table 6:** Average content of outgoing materials in g/kg product.
- Table 7:** Mass balance of the composting process in kg
- Table 8:** The Carbon Nitrogen (C/N) ratio of incoming composting materials in different rounds
- Table 9:** Volume reduction during composting in m³.
- Table 10:** Summary of temperatures in the heap during the different rounds in °C.
- Table 11:** Summary of ventilation rates during composting in m³.
- Table 12:** Total emissions during composting in kg.
- Table 13:** Summary of odour concentrations in Odour Units/m³
- Table 14:** Hedonic value of air samples.
- Table 15:** Supply, removal and losses (in kg and as percentage of supply) during the different rounds.
- Table 16:** Emissions as contribution tot mass reduction
- Table 17:** Carbon and nitrogen balances of the different composting rounds.
- Table 18:** Copper (Cu), Zinc (Zn), Nickel (Ni), Plumb (Pb) and Chromium (Cr) content in different compost types in mg/ kg DM.
- Table 19:** Comparison of concentration and loads of heavy metals in slurry and compost based on a nitrogen supply of 225 kg/ha.
- Table 20:** Respiration ratio of different types of organic materials under standardized conditions in mmol O₂ per kg OM per hour.
- Table 21:** Respiration and bread down ratio of slurry and compost samples in mmol O₂ per kg OM per hour.
- Table 22:** Assumptions for calculation of nitrogen losses on farm level.
- Table 23:** Summary of slurry and nitrogen production per year.
- Photo 1:** Overview of composting shed.
- Photo 2:** Measurement of leakage level.

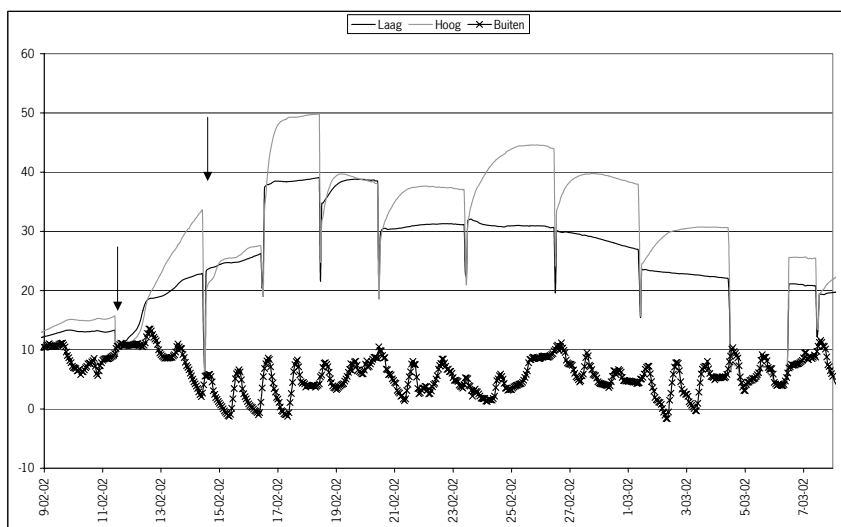
Bijlage 2. Temperatuurverloop in ronde B1, C1 en B2.



Figuur 13: Temperatuurverloop ronde B1.

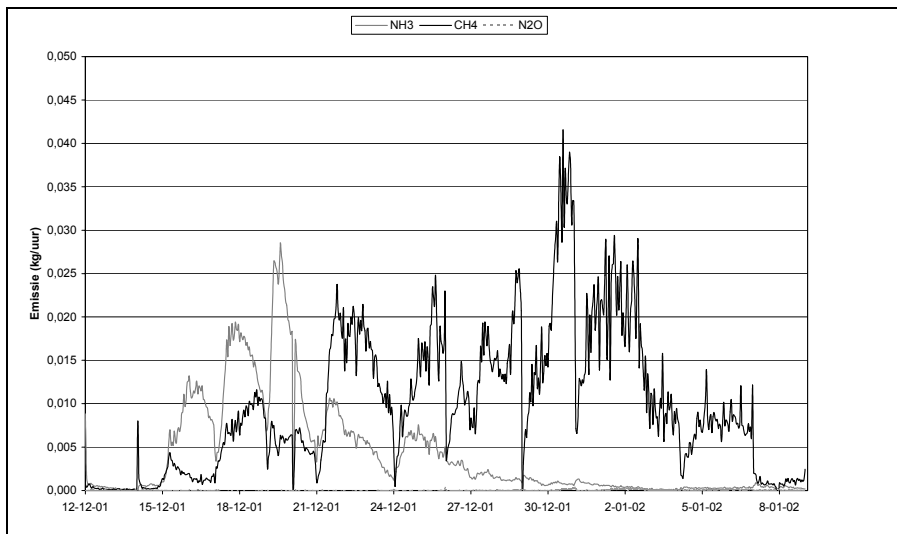


Figuur 14: Temperatuurverloop ronde C1.

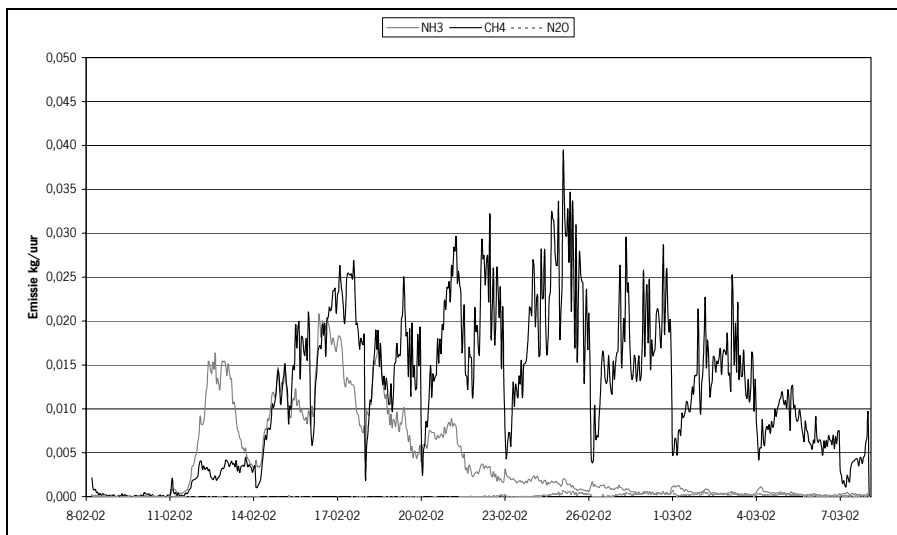


Figuur 15: Temperatuurverloop ronde B2.

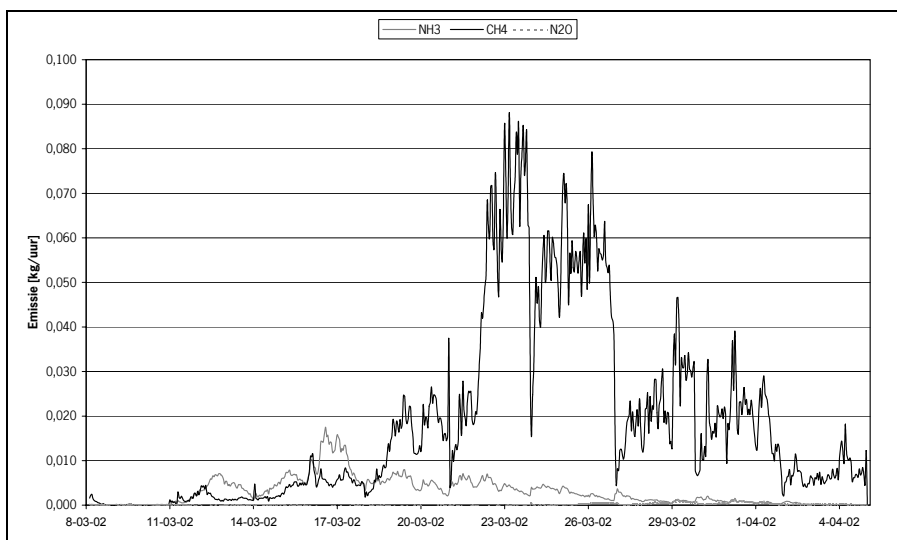
Bijlage 3. Emissieverloop in ronde B1, B2 en C2.



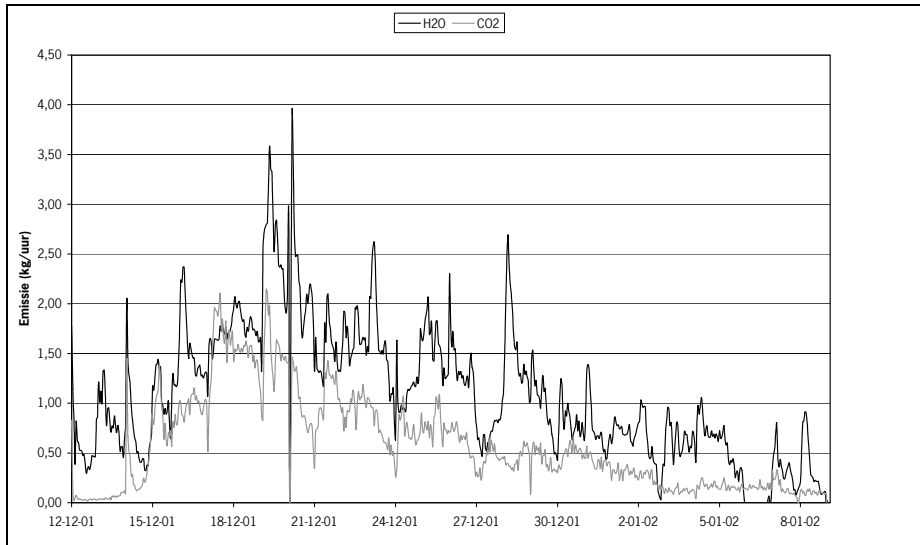
Figuur 16: Emissieverloop NH₃, CH₄ en N₂O in ronde B1



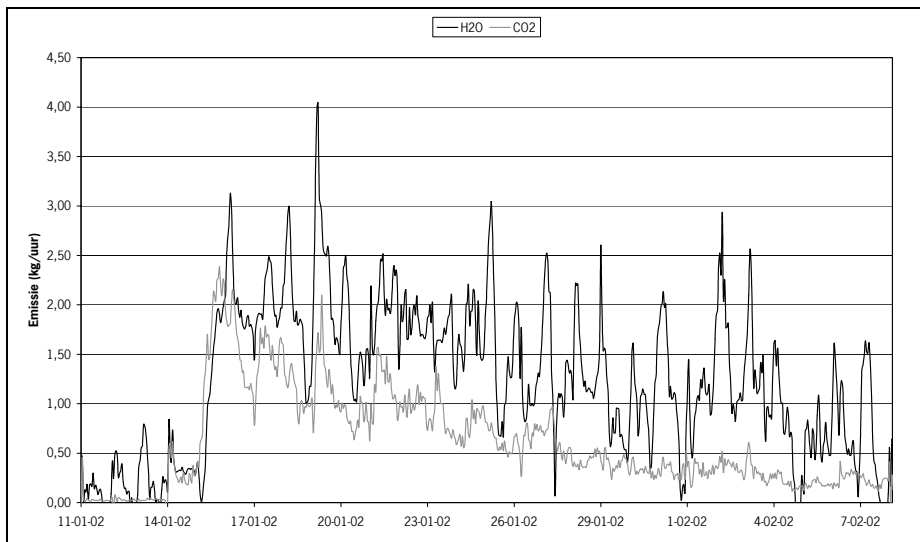
Figuur 17: Emissieverloop NH₃, CH₄ en N₂O in ronde B2



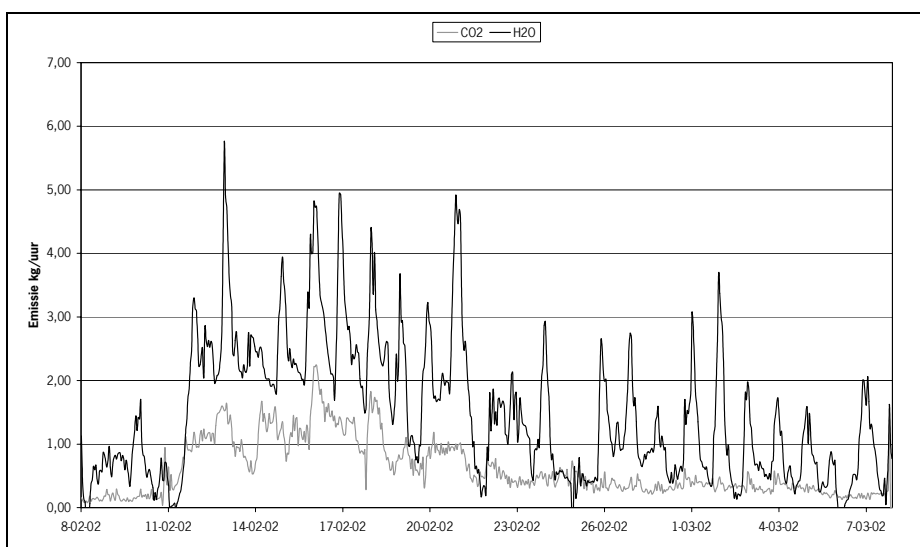
Figuur 18: Emissieverloop NH₃, CH₄ en N₂O in ronde C2.



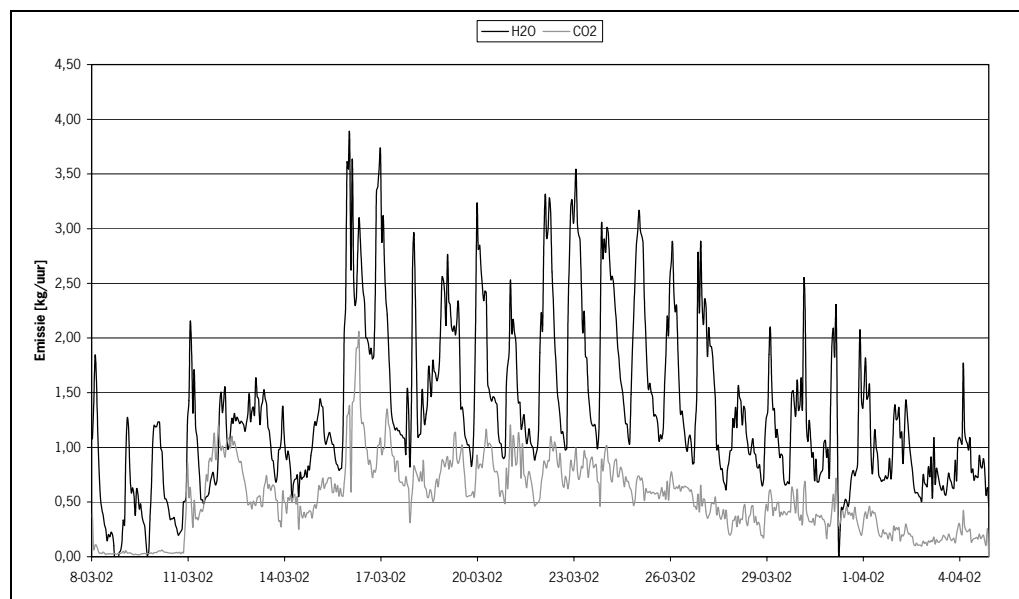
Figuur 19: Emissieverloop H₂O en CO₂ van ronde B1.



Figuur 20: Emissieverloop H₂O en CO₂ van ronde C1.



Figuur 21: Emissieverloop H₂O en CO₂ van ronde B2



Figuur 22: Emissieverloop H₂O en CO₂ van ronde C2