
Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLVII

Biothermische droogunit voor voorgedroogde leghennenmest met luchtbehandeling door een chemische wasser

Treatment of air from a biothermal drying unit for pre-dried manure of laying hens by a chemical air scrubber

Ing. J.M.G. Hol

Ing. J.V. Klarenbeek

Dr. Ir. P.W.G. Groot Koerkamp

December 1999

Rapport 99-11

© 1999

Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG)
Mansholtlaan 10-12, Postbus 43, 6700 AA Wageningen
Telefoon 0317 - 476300
Telefax 0317 - 425670
www.imag.wageningen-ur.nl

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

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

Onderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XLVII

Biothermische droogunit voor voorgedroogde leghennenmest met
luchtbehandeling door een chemische wasser

*Treatment of air from a biothermal drying unit for pre-dried manure of laying
hens by a chemical air scrubber*

Ing. J.M.G. Hol
Ing. J.V. Klarenbeek
Dr. Ir. P.W.G. Groot Koerkamp

December 1999

Rapport 99-11

Abstract

J.M.G. Hol, J.V. Klarenbeek and P.W.G. Groot Koerkamp. Research into ammonia emission from livestock production systems XLVII:

Treatment of air from a biothermal dry unit for pre-dried manure of laying hens by a chemical air scrubber. Institute of Agricultural and Environmental Engineering, report 99-11, in Dutch, with summary in English, 22 pp.

Ammonia emission from animal husbandry has to be reduced in the Netherlands by 70% in the year 2005, as compared with the emission level in 1980. Research was carried out into the ammonia emission from a temperature controlled composting unit for laying hen manure with air treatment by a chemical air scrubber. Twice a week pre-dried laying hen manure (dry matter 55%) was distributed evenly in layers in the composting unit. A dry matter content of 85% was the setpoint for process control in the composting unit. The removal efficiency of the chemical air scrubber for ammonia was also calculated. The research was carried out during a summer and an autumn period. The emission of ammonia amounted respectively to 6.0 and 0.8 kg/year per animal place including a correction for non-occupied period of 14 days. The removal efficiency of the chemical air scrubber for the two periods was 92 en 97%, respectively.

Voorwoord

Onderzoek naar de ammoniakemissie uit mestbewerkinginstallaties onder bedrijfsomstandigheden levert een waardevolle bijdrage aan de kennis van de milieubelasting door de veehouderij en de mogelijkheden om deze belasting te verminderen. In 1996 is in de pluimveehouderij het project 'Het Zuivere Ei' opgezet, een beleidsexperiment waarmee investeren in technologie en techniek in plaats van investeren in milieurechten, is ontwikkeld. Een onderdeel van het project was de ontwikkeling van het biothermisch drogen, een andere omschrijving voor gecontroleerd composteren van pluimveemest op bedrijfsniveau. De lucht uit de biothermische droogunit bevat veel ammoniak en daarom wordt de lucht gezuiverd met een chemische wasser. Het onderzoek naar de ammoniakemissie en het wasrendement van de chemische wasser is uitgevoerd door de DLO-meetploeg op het bedrijf van de gebroeders Classens, te Oirlo. We zijn hen zeer erkentelijk voor de goede en prettige samenwerking.

Ir. A.A. Jongebreur

directeur

Inhoud

Abstract	1
Voorwoord	2
Inhoud	3
Samenvatting	4
1 Inleiding	5
2 Materiaal en methode	6
2.1 Stal- en bedrijfssituatie	6
2.1.1 Bedrijfssituatie	6
2.1.2 Biothermische droogunit	6
2.1.3 Chemische wasser	7
2.2 Metingen	9
2.2.1 Algemeen	9
2.2.2 Temperatuur	9
2.2.3 Ventilatie-debiet	9
2.2.4 Ammoniakconcentratie	10
2.2.6 Mestsamenstelling	10
2.2.7 Dataverwerking	11
3 Resultaten	12
3.1 Temperatuur	12
3.2 Ventilatie-debiet	13
3.3 Ammoniakemissie en -reductie	13
3.5 Mestsamenstelling	15
4 Discussie	17
5 Conclusies	19
Summary	20
Literatuur	21
Bijlagen	23

Samenvatting

Ammoniak is naast NO_x en SO_x één van de meest belangrijke verzurende componenten in ons milieu. De Nederlandse overheid heeft tot doel gesteld dat de emissie van ammoniak ten opzichte van het niveau van 1980 in het jaar 2000 met 50% en in 2005 met 70% afgenomen moet zijn. In dit kader werd door de DLO-meetploeg onderzoek verricht naar de ammoniakemissie van de mestverwerkingsinstallatie zoals die werd ontwikkeld en toegepast binnen het project 'Het Zuivere Ei'. Met deze installatie werd beoogd om het drogestofgehalte van voorgedroogde leghennenmest door middel van compostering te verhogen van 55% tot minimaal 85% droge stof. Deze wijze van compostering werd 'biothermisch drogen' genoemd, waarbij pathogenen en kiemen door de hoge droogtemperatuur werden gedood. Het afgas van de installatie die o.a. ammoniak bevat werd behandeld door een chemische wasser, die een beoogd rendement had van 90%.

De te composteren mest was afkomstig van 155.000 leghennen die waren gehuisvest in batterijkooien met daaronder mestbanden. De opgevangen mest werd intensief voorgedroogd op mestbanden (debiet minimaal $0,7 \text{ m}^3/\text{dier}$; temperatuur drooglucht minimaal 17°C), zoals omschreven in Groen Label erkenning nr. BB 97.07.058 (Groen Label, 1997). Tweemaal per week werd de mest van de banden vanuit de stallen naar één van de twee cellen van de biothermische droogunit (BTU) getransporteerd. Door de mest in deze cellen werd lucht geblazen om enerzijds vocht uit de mest af te voeren en anderzijds de temperatuur in de BTU te regelen. Een gedeelte van de ammoniakrijke lucht uit de BTU werd gerecirculeerd en de overige lucht werd behandeld door een chemische wasser. Deze wasser werkte volgens het zogenaamde kruisstroomprincipe. In de wassectie werd de afgevoerde lucht intensief in contact gebracht met de zure wasvloeistof waardoor de ammoniak oploste. De wasvloeistof bestond uit water dat werd aangezuurd met zwavelzuur (46%) tot een zuurgraad (pH) van 4,5. De opgeloste ammoniak werd met zwavelzuur geneutraliseerd tot ammoniumsulfaat. Door de DLO-meetploeg werd gedurende twee perioden onderzoek verricht naar de ammoniakemissie van de BTU, een aantal procesparameters, de mestsamenstelling voor en na compostering, en het wasrendement van de chemische wasser ten aanzien van ammoniak. Uit de gemeten ammoniakconcentraties voor en na de chemische wasser werd het wasrendement berekend.

De ammoniakconcentratie van de lucht uit de BTU lag tussen 6 en 794 mg/m^3 (gemiddeld 378 mg/m^3). De ammoniakconcentratie van de gewassen lucht lag tussen 0,3 en 228 mg/m^3 (gemiddeld 18 mg/m^3). Het gemiddelde wasrendement voor de twee perioden bedroeg gemiddeld respectievelijk 92 en 97%. De gemiddelde NH_3 -emissie over beide perioden bedroeg $3,6 \text{ g/jaar}$ per dierplaats. Het gemiddelde drogestofgehalte van de voorgedroogde mest voor de eerste en tweede meetperiode bedroeg respectievelijk 513 g/kg en 485 g/kg . De biothermisch gedroogde mest had een drogestofgehalte van respectievelijk 834 en 784 g/kg . Hierdoor verminderde de hoeveelheid af te voeren mest.

1 Inleiding

De meest belangrijke verzurende componenten van ons milieu zijn stikstofdioxide (SO_2), NO_x (stikstofmonoxide (NO) en stikstofdioxide (NO_2)) en ammoniak (NH_3), samen met hun reactieproducten, in het kort SO_x , NO_y en NH_x genoemd. In 1993 was 86% van de verzuring door NH_x uit eigen land afkomstig en kwam 92% daarvan uit de landbouw. De bijdrage van NH_x aan de totale verzuring in Nederland was in dat jaar 47% (Heij en Schneider, 1995). De Nederlandse overheid heeft tot doel gesteld dat de emissie van ammoniak ten opzichte van het niveau van 1980 in het jaar 2000 met 50% en in 2005 met 70% moet zijn afgenomen (Notitie Mest- en Ammoniakbeleid Derde Fase, 1993; Integrale Notitie Mest- en Ammoniakbeleid, 1995). Om dit te kunnen realiseren is invoering van emissiebeperkende technieken en systemen noodzakelijk.

Behalve via onderzoek komen ook vanuit de praktijk vele ideeën en initiatieven om de ammoniakemissie terug te dringen. Om deze op waarde te schatten dient aan, in potentie emissiearme maatregelen, onder normale bedrijfsomstandigheden te worden gemeten. De aanvragen voor emissiemetingen kunnen worden ingediend bij het secretariaat van de DLO-meetploeg (Bijlage A). De Begeleidingscommissie Ammoniakemissiemetingen van de DLO-meetploeg beoordeelt alle aanvragen op de volgende criteria: perspectief voor wat betreft de vermindering van de ammoniakemissie, toepasbaarheid in de praktijk en mogelijke negatieve milieu-effecten.

In bovenstaand kader werd door de DLO-meetploeg onderzoek verricht naar de ammoniakemissie van de mestverwerkingsinstallatie zoals die ontwikkeld en toegepast werd binnen het project 'Het Zuivere Ei' (Stouthart *et al.*, 1998). Met deze installatie werd beoogd om het drogestofgehalte van voorgedroogde leghennenmest van 55% door middel van gecontroleerde compostering te verhogen tot minimaal 85%. Deze wijze van compostering wordt 'biothermisch drogen' genoemd en de installatie een 'biothermische droogunit' (BTU). Door de hoge temperatuur tijdens dit proces worden pathogenen en kiemen gedood. In Klarenbeek *et al.* (1999) wordt het NH_3 - en geuronderzoek tijdens de optimalisatie van het droogproces beschreven.

Het afgas van de installatie werd behandeld door een chemische wasser. Door de DLO-meetploeg werd gedurende twee perioden onderzoek verricht naar de ammoniakemissie van de installatie, een aantal procesparameters, de mestsamenstelling en het verwijderingsrendement voor ammoniak van de chemische wasser. Het rendement van biologische en chemische wassers bedraagt doorgaans 70% (Groen Label, 1996a en 1996b). Een chemische wasser heeft de potentie om een hogere ammoniakreductie te realiseren, omdat het invangen en omzetten van ammoniak niet beïnvloed wordt door de in het algemeen gevoeligere biologische processen. Daarom werd de beoogde ammoniakreductie van deze chemische wasser gesteld op 90%.

2 Materiaal en methode

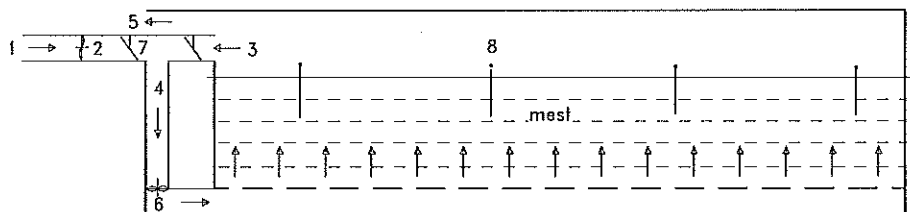
2.1 Stal- en bedrijfssituatie

2.1.1 Bedrijfssituatie

De mest was afkomstig van 155.000 leghennen die waren gehuisvest in batterijkooien met daaronder mestbanden (3 stallen met 14 rijen van 8 etages hoog). De huisvesting voldeed aan de eisen van het kippenbesluit (Weerdhof, 1994). De mest van de hennen werd verzameld op mestbanden en in de stallen intensief voorgedroogd, zoals omschreven in Groen Label erkenning nr. BB 97.07.058 (Groen Label, 1997). Bij dit systeem wordt geëist dat de temperatuur van de drooglucht minimaal 17 °C en het debiet minimaal 0,7 m³/dier bedraagt (middelveorschriften), waarbij het drogestofgehalte van de mest na 5 dagen minimaal 55% moet zijn (doelvoorschrift). Tweemaal per week werd de voorgedroogde mest uit de stallen naar één van de twee cellen van de biothermische droogunit (BTU) getransporteerd. Door deze cellen werd lucht geblazen, om enerzijds vocht uit de mest af te voeren en anderzijds de temperatuur te regelen. Een gedeelte van de lucht uit de twee cellen werd afgevoerd en behandeld door een chemische wasser met als doel om de ammoniak uit de lucht te verwijderen. Het andere deel van de ventilatielucht werd gerecirculeerd.

2.1.2 Biothermische droogunit

De BTU bestond uit twee luchtdicht afgesloten, betonnen ruimtes (cellen) van elk 15,2 x 4,8 x 5,5 m (l x b x h; Bijlage B) met onderin een speciale vloer met openingen voor de ventilatielucht. In Figuur 1 is een schematische lengtedoorsnede van een cel gegeven.



Figuur 1 Schematische lengtedoorsnede van een cel (de pijlen geven de luchtstroom weer). 1: invoer buitenlucht, 2: meetventilator, 3: invoer recirculatielucht met regelklep, 4: inblaasluicht, 5: afvoer afgas naar wasser, 6: centrifugaal ventilator, 7: regelklep voor inlaat buitenlucht, 8: temperatuur sensoren in de mest.

Figure 1 Schematic cross section of one cell of the composting unit (the arrows indicate the air flow). 1: flow of outside air, 2: measuring fan, 3: flow of recirculated air with control valve, 4: flow to composting unit, 5: discharge of air to chemical scrubber, 6: centrifugal ventilator, 7: control valve for outside air, 8: temperature sensors in manure.

Met de BTU werd beoogd om de mest uit de stallen te drogen tot minimaal 85% droge stof. Dit werd bereikt door tweemaal per week één van beide cellen te vullen met een gelijkmatige laag van voorgedroogde mest uit de stal. Deze hoeveelheid mest was door de hennen geproduceerd gedurende 3 of 4 dagen. Door het aanbrengen van een laag voorgedroogde mest steeg het mestniveau in de cel met ca. 0,9 m. Na 6 lagen was een cel volledig gevuld. Het tijdsverloop van het proces is schematisch weergegeven in Bijlage C. Lucht werd door de geperforeerde vloer onderin de BTU door de lagen

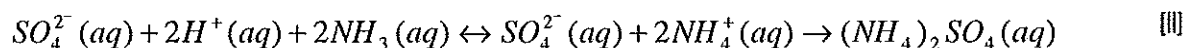
voorgedroogde mest geblazen. Door de gecreeerde aërobe omstandigheden ontstond broei in de mest, waarbij de mesttemperatuur opliep tot ongeveer 65 °C. Nadat een cel van de BTU volledig was gevuld kon de mest ongeveer 2 weken nabroeien. Gedurende deze periode werd de andere cel gevuld (zie bijlage C). Tijdens de broeiperiode trad inklinking van de mest op, waardoor bij aflevering de mesthoogte nog maar ca. 4 m bedroeg. Vervolgens werd de biothermisch gedroogde mest binnen 1 dag afgekoeld door te beluchten met koude lucht; hierna werd de mest afgevoerd. De hoeveelheid afgevoerde mestproduct bedroeg per cel per bijna 300 m³ (ca. 120 ton). Nadat de biothermisch gedroogde mest was verwijderd werd de voorgedroogde mest uit de stal weer in de eerste cel geladen en werd gestart met de nabroei in de tweede cel.

Beide cellen waren aangesloten op een centrifugaalventilator waarmee de voorgedroogde mest van onderen af werd belucht. In Figuur 1 is de luchtstroom met pijlen weergegeven. De hoeveelheid ingeblazen lucht was afhankelijk van het verschil tussen de actuele en de gewenste procestemperatuur in de BTU. De procestemperatuur van de cel werd geregeld door de gewenste temperatuur te vergelijken met de gemiddelde temperatuur van de vier sensoren die in de mest waren geplaatst. Indien de mesttemperatuur hoger was dan de gewenste dan werd de retourlucht gemengd met koudere lucht uit de technische ruimte. Bovenin de cel werd de proceslucht afgezogen en een gedeelte van deze luchthoeveelheid werd afhankelijk van de procesomstandigheden gerecirculeerd.

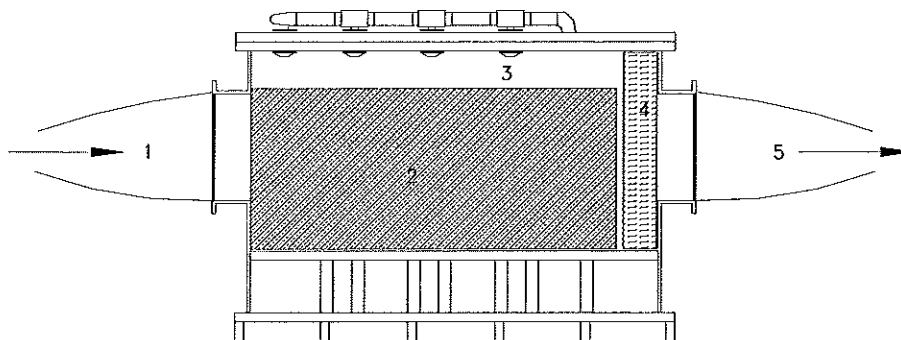
2.1.3 Chemische wasser

Tijdens het biothermisch drogen van de voorgedroogde mest in de BTU werd veel ammoniak geproduceerd als gevolg van de afbraak van urinezuur en organische stof (met name eiwitten). De ammoniakconcentratie in de afgevoerd lucht (=afgas) is daardoor hoog. Zonder maatregelen zou de totale ammoniakemissie van het bedrijf sterk toenemen. De niet gerecirculeerde proceslucht van de BTU werd behandeld door een chemische wasser en daarna uitgestoten naar de atmosfeer.

De chemische wasser werkte volgens het kruisstroomprincipe. In de wassectie werd de lucht uit de BTU intensief in contact gebracht met de zure wasvloeistof waarin de ammoniak oplost [I]. De wasvloeistof bestond uit water dat werd aangezuurd met zwavelzuur (46%) tot een zuurgraad (pH) van 4,5. Het opgeloste ammoniak werd met zwavelzuur geneutraliseerd tot ammoniumsulfaat [II]. De chemische reacties in de wasser konden als volgt worden weergegeven (aq = in waterige oplossing; g = gasvormig):



Figuur 2 toont de dwarsdoorsnede van de gebruikte chemische wasser. De lucht werd door de centrifugaalventilator uit de BTU in de wasser geblazen (1) en kwam in de wassectie (2) met pakkingsmateriaal terecht. Met behulp van een circulatiepomp werd de wasvloeistof naar de sproeiers (3) bovenin de wasser gepompt. De sproeiers zorgden voor een uniforme bevochtiging van het pakkingsmateriaal. De wasvloeistof liep onder natuurlijk verval naar het voorraadvat. De gewassen lucht werd na het passeren van de druppelvanger (4) uitgestoten naar de atmosfeer (5). De druppelvanger, ook wel demister genoemd, had als functie de eventueel aanwezige druppels wasvloeistof



Figuur 2 Schematische dwarsdoorsnede van de chemische wasser. 1: luchtstroom van BTU, 2: wassectie met pakkingsmateriaal, 3: sproeiers, 4: druppelvanger, 5: uitstoot behandelde lucht naar atmosfeer.

Figure 2 Schematic cross section of the chemical air scrubber. 1: air from composting unit, 2: washing section with packing material, 3: sprayers, 4: demister, 5: emission of treated air to atmosphere.

Het verloop van de processen in de wasser volgens reacties (I) en (II) is onder andere afhankelijk van de grootte van het contactoppervlak tussen de stallucht en de wasvloeistof in de wassectie. Daartoe was de wassectie gevuld met pakkingsmateriaal hetgeen het contactoppervlak vergroot. Ook een lage pH (aanwezigheid van H^+ (aq)) van de wasvloeistof zorgt voor een beter verloop van bovenstaande reacties (Satter, 1996). De pH van de wasvloeistof werd continue gemeten. Met een automatische regeling werd de pH bijgesteld indien deze hoger was dan 4,5 door toevoeging van zwavelzuur. De hoeveelheid ammoniumsulfaat in de wasvloeistof werd periodiek gecontroleerd met een aerometer. Bij een soortelijk gewicht van 1,2 kg/l werd handmatig een deel van het waswater afgevoerd (spuiwater) en vervangen door leidingwater. Het spuiwater werd opgeslagen in een voorraadtank. In Tabel 1 zijn enkele technische eigenschappen van de chemische wasser vermeld.

Tabel 1 Technische eigenschappen van de gebruikte chemische wasser.

Table 1 Technical properties of the chemical air scrubber.

Zuurgraad van de wasvloeistof	4,5
Effectieve wassectie	4,05 m ³
Specifiek oppervlak pakkingsmateriaal	143 m ² /m ³
Maximaal luchtdebiet	16.000 m ³ /uur
Minimale verblijftijd van de lucht in de wasser	0,97 sec
Totale hoeveelheid spuiwater per jaar	150 m ³ /jaar

2.2 Metingen

2.2.1 Algemeen

Gedurende twee meetperioden werden metingen verricht om de ammoniakemissie en het wasrendement van de chemische wasser te bepalen. In Tabel 2 staan de start- en einddata van de metingen vermeld. Een ammoniakmeting bestond uit een periode van 3 of 4 aaneengesloten meetdagen.

Gedurende de twee meetperioden zijn de volgende variabelen geregistreerd:

- temperatuur van de inblaas- en recirculatielucht van de BTU en van de mest in de BTU; (§ 2.2.2);
- ventilatiedebiet (§ 2.2.3);
- NH_3 -concentratie van de lucht uit de BTU en van de gewassen lucht (§ 2.2.4);
- mestsamenstelling (§ 2.2.5).

De meetwaarden voor de verschillende temperaturen en het ventilatiedebiet werden van de procescomputer van het bedrijf overgenomen. Deze computer legde iedere 15 minuten een gemiddelde waarde vast.

Tabel 2 De start- en einddata van de twee meetperioden, het aantal meetdagen en het aantal metingen voor ammoniakconcentraties.

Table 2 Start and end dates of the two measuring periods, the number of days per period and the number of measurements for ammonia concentrations.

Meetperiode	1	2
Start meetperiode	10-aug-98	17-nov-98
Einde meetperiode	23-sept-98	28-dec-98
Aantal meetdagen	44	41
Aantal metingen NH_3	13	11

2.2.2 Temperatuur

De temperatuur van de ingaande (combinatie van buitenlucht en gecirculeerde proceslucht) en uitgaande lucht van de BTU werd gemeten met een ADC-temperatuursensor. De mesttemperatuur werd op vier plaatsen op ca. 0,3 m diepte in het midden van een cel gemeten met ADC-temperatuursensoren. Op het moment dat de BTU was gevuld met nieuwe mest werden de sensoren in de nieuwe mestlaag geplaatst. Na de laatste vulling werden de temperatuursensoren niet meer verplaatst, zodat deze mesttemperatuur werd gemeten tot het eind van de biothermische droging.

2.2.3 Ventilatiedebiet

Het ventilatiedebiet van de gewassen lucht kon niet worden gemeten vanwege de warme en vochtige luchtcondities die technische storingen veroorzaakten. Het ventilatiedebiet werd bepaald op basis van het gemeten ingaande luchtdebiet van de BTU en een inschatting van de dichtheidverschillen. Met een visuele controle tijdens een rookproef werden geen lekkages gevonden, zodat kon worden aangenomen dat de BTU nagenoeg luchtdicht was. Daarnaast werd een inschatting gemaakt van het verschil in dichtheid

tussen de ingaande lucht van de BTU (20 °C en 70% relatieve luchtvochtigheid) en de uitgaande gewassen lucht (geschat op 40 °C en 100% relatieve luchtvochtigheid). Voor de bepaling van het debiet van de ingaande lucht werd een meetventilator geplaatst met dezelfde diameter als de ventilatiekoker. Alle ingaande lucht van de BTU werd gemeten met de meetventilator. Per omwenteling van de meetventilator werden 4 pulsen afgegeven en het aantal pulsen per 10 seconden werd geregistreerd. De relatie tussen het aantal pulsen per 10 seconden en het ventilatiedebiet werd bepaald met behulp van een windtunnel (Berckmans et al., 1991; Scholtens en van 't Klooster, 1993). De kalibratie van de meetventilator vond voorafgaand aan de metingen plaats. De resultaten zijn vermeld in Bijlage D. Gedurende de metingen voorafgaand aan de beschreven meetperiodes bleek de datalogger maar een korte tijd de gegevens te registreren. Het ventilatiedebiet werd daarom bepaald door gegevens van de klimaatcomputer over te nemen. De korte periode dat de registratie wel werkte werd gebruikt om de resultaten van de klimaatcomputer te vergelijken met de gemeten waarden. Op basis hiervan werd een formule geschat voor de berekening van het ventilatiedebiet op basis van de gegevens uit de klimaatcomputer (Bijlage D).

2.2.4 Ammoniakconcentratie

De ammoniakconcentratie werd op 2 punten gemeten te weten:

- voor de inlaat van de wasser, ofwel het afgas van de BTU (ingaande lucht wasser);
- in de afvoerkoker van de wasser (uitgaande lucht wasser)

De ammoniakconcentratie werd gemeten volgens de nat-chemische methode (Wintjens, 1993). Hierbij werd gedurende een bekende tijdsduur een vaste hoeveelheid lucht vanaf het monsternamapunt door gaswasflessen met een zure opvangvloeistof geleid. De ammoniak in de aangezogen lucht werd ingevangen in deze vloeistof. De ammoniakconcentratie in de vloeistof werd in het laboratorium bepaald volgens NEN 6472.

In het onderhavige onderzoek werd met kritische capillairen een vaste hoeveelheid lucht (1 liter per minuut) door de gaswasflessen met opvangvloeistof geleid. De opvangvloeistof (100 ml) in de gaswasflessen bestond uit 2,0 M salpeterzuur (HNO_3) voor de meting van de concentratie van ingaande lucht van de wasser, en 0,2 M HNO_3 voor de meting van de concentratie van de uitgaande lucht. Een extra gaswasfles was geplaatst als back-up om toch alle ammoniak in te vangen bij mogelijke verzadiging van de opvangvloeistof in de eerste fles. De hoeveelheid ammonium in de tweede fles ten opzichte van de totaal ingevangen hoeveelheid ammonium werd doorslag(%) genoemd. De flessen werden om de 3 of 4 dagen vervangen (tweemaal per week). De uitgaande lucht werd vanwege de hoge relatieve luchtvochtigheid eerst gecondenseerd en daarna pas door de gaswasflessen geleid. De ammoniakconcentratie van de inhoud van deze condensvangers werd ook bepaald.

2.2.6 Mestsamenstelling

De voorgedroogde mest uit de stallen werd bemonsterd voordat deze naar de BTU werd getransporteerd. Per vulling werd gedurende het transport (tijdsduur 1 uur) 5 maal een monster genomen. Daarnaast werd de biothermisch gedroogde mest tijdens het leegrijden van de cel bemonsterd. Hiertoe werd uit de gehele massa op 12 plaatsen een hoeveelheid droge mest verzameld. De mestmonsters werden geanalyseerd op drogestofgehalte, ammoniumstikstof, totaalstikstof, fosfaat en kalium. De mestmonsters werden geanalyseerd volgens de daarvoor geldende NEN normen. In Tabel 3 zijn het aantal monsters per meetperiode weergegeven.

Tabel 3 Aantal mengmonsters van de voorgedroogde - en biothermisch gedroogde mest per meetperiode.

Table 3 Number of samples of pre-dried and composted manure per measuring period.

	Meetperiode 1		Meetperiode 2	
	Cel 1	Cel 2	Cel 1	Cel 2
Voorgedroogde mest uit de stal	6	4	6	6
Biothermisch gedroogde mest (klaar voor afvoer	1	0	1	0

2.2.7 Dataverwerking

De gemiddelde ammoniakconcentratie per meting werd berekend door de hoeveelheid ammoniak (mg) in de zure oplossing van de gaswasflessen en in de condensvangers te delen door de hoeveelheid lucht (m³) die door de opvangvloeistof was geleid. De ammoniakreductie van de wassers werd berekend door de ammoniakconcentratie van de gewassen lucht te vergelijken met de ammoniakconcentratie van het afgas (ingaande lucht van de wasser).

Over de bemonsteringsperiode voor ammoniak werd het gemiddelde ventilatiedebiet van de wasser (m³/uur) berekend. Door het gemiddelde debiet te vermenigvuldigen met de ammoniakconcentratie (mg/m³) van de gewassen lucht werd de emissie (g/uur) berekend. De ammoniakemissies (kg) per jaar per dierplaats werd berekend op basis van 155.000 dierplaatsen en 14 dagen leegstand per jaar (ca. 4%).

3 Resultaten

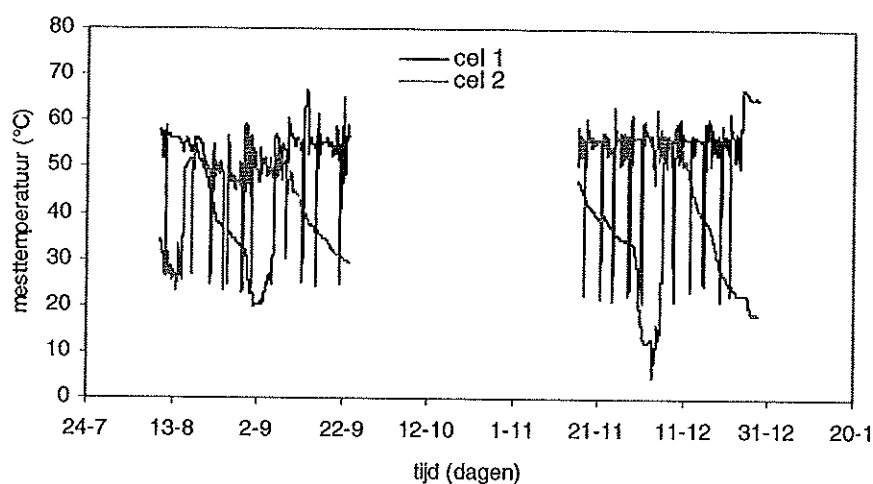
3.1 Temperatuur

In Tabel 4 wordt de gemiddelde temperatuur van de inblaas- en recirculatielucht en de mest tijdens de twee meetperioden weergegeven. De inblaasluft is een combinatie van buiten- en recirculatielucht. De meetperioden zijn opgesplitst in twee delen, namelijk de periode dat telkens een laag verse mest werd ingebracht (=broei) en de periode waarin de mest nabroeide (geen circulatie van lucht). Tevens is het gemiddelde debiet van de inblaasluft van de BTU vermeld over de gehele meetperiode. In Figuur 3 is het verloop van de mesttemperatuur per cel per meetperiode weergegeven.

Tabel 4 Gemiddelde temperatuur van beide cellen voor de broei- en nabroeiperiode, van de inblaas-, de recirculatielucht en de mest en het gemiddelde ventilatiedebiet per meetperiode.

Table 4 Mean temperature of the ingoing and recirculation air from both cells during the active composting period and the period of stabilisation, and temperatures of the manure and the mean ventilation rate per measuring period.

		Meetperiode 1		Meetperiode 2	
		broei	nabroe	broei	nabroe
Temperatuur (°C)	Inblaasluft	42,7	35,7	41,7	35,7
	Recirculatielucht	51,6	40,8	51,6	38,1
	Mest	52,8	41,2	53,6	39,4
Ventilatiedebiet (m ³ /uur) Ingaande lucht		4.809		3.944	



Figuur 3 Verloop van de temperatuur (°C) van de bovenste laag van de mest in de twee cellen van de BTU gedurende de twee meetperioden.

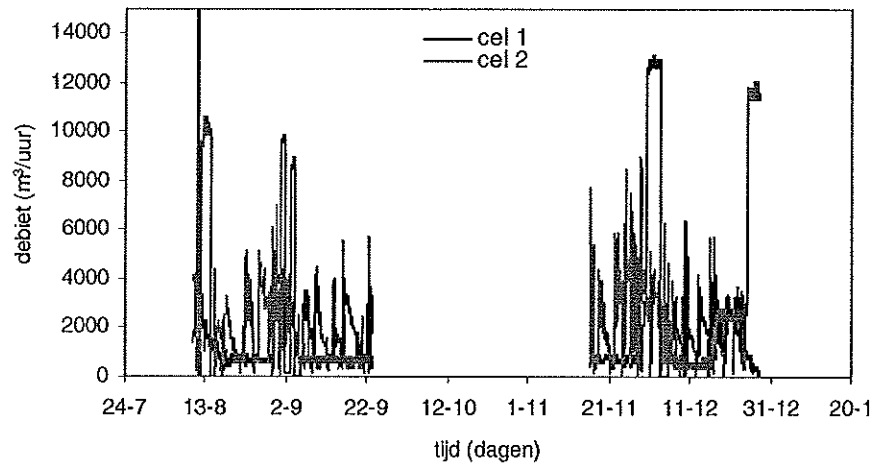
Figure 3 Course of the temperature (°C) in the top layer of the manure in the two cells of the composting unit during the two measuring periods.

De scherpe dalingen in de figuur geven het moment aan waarop de deksel van een cel open ging en de cel werd aangevuld met nieuwe voorgedroogde mest. In de periode van nabroe daalde de temperatuur geleidelijk doordat het broeiproces afnam. Uit Figuur 3 blijkt dat gedurende de eerste meetperiode de

variaties in het temperatuurverloop groter waren, waaruit opgemaakt kon worden dat het proces in de tweede meetperiode nauwkeuriger werd geregeld.

3.2 Ventilatie-debiet

In Tabel 4 staat het gemiddelde ventilatie-debiet per meetperiode vermeld. Figuur 4 geeft het verloop van het debiet van de ingaande lucht.



Figuur 4 Verloop ventilatie-debiet (m^3/uur) van de ingaande lucht van de twee cellen van de BTU tijdens de twee meetperioden.

Figure 4 Course of the ventilation rate (m^3/h) of the ingoing air flow of the two cells of the composting unit during the two measuring periods.

In de figuur zijn de verschillende stadia van het composteringsproces van de beide cellen goed zichtbaar. Tijdens het vullen van een cel vertoonde het debiet een zaagtandverloop. Een extreem hoog debiet trad op in de korte perioden waarin de mest sterk werd afgekoeld en daarna werd uitgeladen. Tijdens de perioden van nabroei was het ventilatie-debiet laag.

3.3 Ammoniakemissie en -reductie

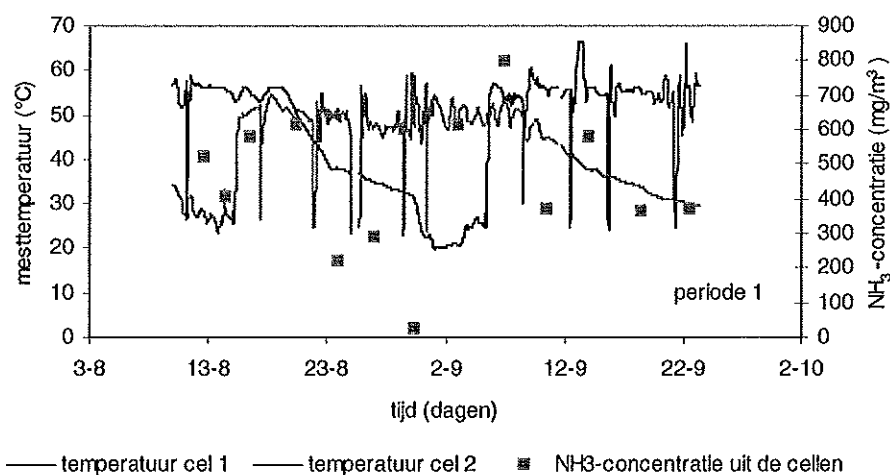
In Tabel 5 wordt een overzicht gegeven van de resultaten van de ammoniakconcentratie-metingen gedurende de beide meetperioden. In Bijlage E worden de uitgebreide meetresultaten vermeld. De ammoniakconcentraties van ingaande lucht van de wasser bedroeg gemiddeld $377,6 \text{ mg}/\text{m}^3$ en varieerde tussen 6 en $794 \text{ mg}/\text{m}^3$. De ammoniakconcentraties van de gewassen lucht bedroeg gemiddeld $18,3 \text{ mg}/\text{m}^3$ en varieerde tussen 0,3 en $228 \text{ mg}/\text{m}^3$. De gemiddelde reductie voor de twee perioden bedroeg respectievelijk 92 en 97%.

Tabel 5 Lengte van de meetperiodes, het aantal metingen, de gemiddelde NH_3 -concentratie na de BTU en na de wasser, het wasrendement van de wasser en de NH_3 -emissie per meetperiode en gemiddeld over alle metingen.

Table 5 Length of measuring periods, the number of measurements, the mean ammonia concentration of the air to and from the chemical air scrubber, the reduction efficiency of the scrubber and the ammonia emission, per measuring period and for all measurements.

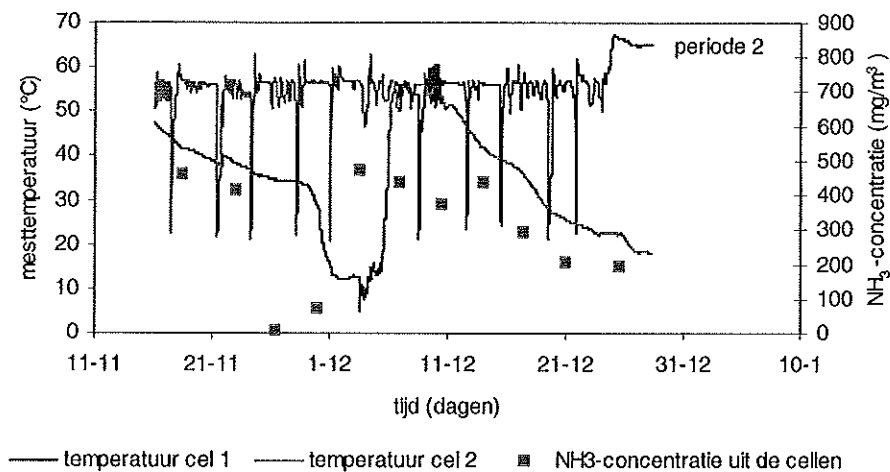
	Meetperiode 1	Meetperiode 2	Gemiddeld
Lengte meetperiode (dagen)	45	42	-
Aantal metingen NH_3 in meetperiode (-)	13	11	-
Aantal metingen gebruikt voor berekening (-)	13	11	-
NH_3 -concentratie BTU (mg/m^3)	439,7	304,1	377,6
NH_3 -concentratie na wasser (mg/m^3)	31,2	2,9	18,3
Reductie (%)	92	97	94
NH_3 -emissie na wasser (g/uur)	110,9	15,0	66,9
Aantal dierplaatsen (-)	155.000	155.000	155.000
Leegstand (dagen per jaar)	14	14	14
NH_3 -emissie na wasser per dierplaats (g/jaar)	6,0	0,8	3,6

Uit Tabel 5 blijkt dat de gemiddelde NH_3 -concentratie van de gewassen lucht in meetperiode 1 aanzienlijk hoger was dan in meetperiode 2. Dit verschil is ook terug te vinden in de hogere gemiddelde ammoniakemissie na de wasser in meetperiode 1. Uit Bijlage E blijkt dat gedurende meetperiode 1 met name bij meting nr 1, 9 en 12 extreem hogere NH_3 -concentraties in de gewassen lucht werden gemeten. Zonder deze metingen zou de gemiddelde NH_3 -concentratie en emissie na de wasser vergelijkbaar zijn met meetperiode 2 ($3,3 \text{ mg}/\text{m}^3$; $12,8 \text{ g}/\text{uur}$; $0,7 \text{ g}/\text{jaar}$ per dierplaats). In Figuur 5 en 6 staat voor beide meetperiodes de NH_3 -concentratie van de uitgaande BTU-lucht weergegeven ten opzichte van het temperatuursverloop van de mest in de afzonderlijke cellen.



Figuur 5 Verloop mesttemperatuur in de twee cellen van de BTU en NH_3 -concentratie van de uitgaande BTU-lucht gedurende meetperiode 1.

Figure 5 Course of the temperature of the manure and the ammonia concentration of the air from the composting unit during period 1.



Figuur 6 Verloop mesttemperatuur in de twee cellen van de BTU en de NH_3 -concentratie van de uitgaande BTU-lucht gedurende meetperiode 2.

Figure 6 Course of the temperature of the manure and the ammonia concentration of the air from the composting unit during period 2.

Uit de resultaten van de ammoniakmetingen van de lucht uit de twee cellen, bleek dat de variatie in de hoeveelheid geproduceerde ammoniak tijdens de verschillende fasen van de compostering groot was, met name in de eerste periode. De beide figuren lijken een dalende trend te vertonen als één van de twee cellen in de nabroeifase verkeerd. In de figuren 5 en 6 vallen de metingen op met een gemeten NH_3 -concentratie lager dan vallen 100 mg/m^3 (zie Bijlage E, meting nr. 7 meetperiode 1 en meting nr 3 en 4 meetperiode 2).

3.5 Mestsamenstelling

In Tabel 7 is de samenstelling gegeven van de voorgedroogde mest in de twee meetperioden, het gemiddelde was respectievelijk 513 en 485 g/kg. Het drogestofgehalte van de voorgedroogde mest lag altijd iets onder de streefwaarde van 550 g/kg. Tabel 8 geeft de samenstelling van de biothermisch gedroogde mest weer. Direct na monsternamen werd de biothermisch gedroogde mest afgevoerd. Uit Tabel 8 blijkt dat de afgevoerde mest het gewenste drogestofgehalte van 850 g/kg niet haalde.

Tabel 7 Samenstelling van de voorgedroogde mest per cel per meetperiode (g/kg). n is het aantal waarnemingen.

Table 7 Composition of the pre-dried manure (g/kg) per composting cell for the two measuring periods. n indicates the number of measurements.

	Meetperiode 1		Meetperiode 2	
	Cel 1 (n=6)	Cel 2 (n=4)	Cel 1 (n=6)	Cel 2 (n=6)
Droge stof	517	508	492	478
N_{kj}	26,5	26,0	24,6	23,9
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	3,0	3,7	3,3	3,5
P_{totaal}	7,8	7,5	8,3	7,9
K_{totaal}	11,9	11,8	10,8	11,0

Tabel 8 Samenstelling van de nagedroogde mest per meetperiode voor cel 1 (g/kg).

Table 8 *Composition of the composted manure in cell 1 (g/kg) for the two measuring periods*

	Meetperiode 1	Meetperiode 2
Droge stof	834	784
N _{kj}	43,6	37,7
NH ₄ ⁺ -N	5,1	5,9
P _{totaal}	14,0	13,9
K _{totaal}	19,8	18,7

4 Discussie

In het onderhavige onderzoek waren twee belangrijke doelen gesteld namelijk:

1. Het wasrendement van de chemische moest minimaal 90% zijn, eigenlijk hoger
2. De mestkwaliteit moet verbeteren en wel van 55% ds van de voorgedroogde mest naar 85% eindproduct.

Het beoogde wasrendement werd tijdens beide meetperioden gehaald met gemiddelde van 92 en 97% respectievelijk. Bij negentien van de in totaal 24 metingen lag het wasrendement boven de 95%. Dit betekende dat in de behandelde lucht nog wel enig ammoniak aanwezig was. De ammoniakemissie na luchtwassing bedroeg 3,6 g NH_3 per dierplaats per jaar. De bedrijfsemmissie nam hierdoor met 36% toe, uitgaande van de emissiefactor voor het aanwezige stalsysteem van 10 g NH_3 per dierplaats per jaar (Wijziging uitvoeringsregeling, 1999).

Uit de resultaten van dit onderzoek bleek dat het de beoogde drogestofgehaltenes niet werden gerealiseerd. De voorgedroogde mest had een iets lager drogestofgehalte (gemiddeld 50%) . Mogelijk was dit het gevolg van de kortere droogtijd in de stal, 3 of 4 dagen in plaats van de maximale 5 dagen zoals voorgeschreven in de Groen Label voorschriften. Ook had de biothermisch gedroogde mest een lager drogestofgehalte dan beoogd (81%). Dit drogestofgehalte was echter indicatief door de beperkingen in de monsternamen.

Uit figuur 5 en 6 was een voorzichtige trend zichtbaar dat de de NH_3 -concentratie in de lucht uit de BTU lager was gedurende de tijd dat één van de cellen in de fase van nabroei of afkoeling zat. Bovendien bleek de NH_3 -productie lager wanneer de procesregeling nauwkeuriger funtioneerde zoals in periode 2. In periode 1 was de NH_3 -concentratie bij 6 van de 14 metingen hoger dan 500 mg/m³. In periode 2 lagen alle metingen onder deze grens.

Uit de resultaten bleek dat de hoeveelheid geproduceerde ammoniak uit de BTU sterk varieerde tijdens de verschillende fasen van de compostering (figuur 5 en 6). De karakteristieken van de drie verschillende processen (broei, nabroei, en afkoeling) kunnen variaties in de ammoniakproducties gedeeltelijk verklaren. Tijdens broei zijn de omstandigheden voor de omzettingbacteriën ideaal (veel substraat, zuurstof en gewenste temperatuur), waardoor ammoniakproductie meestal hoog is. Tijdens de nabroei daalde de productie van NH_3 doordat de omzettingbacteriën gelimiteerd wordt door de afnemende zuurstofconcentratie (beluchting werd gestopt). Tijdens de snelle afkoeling wijken de omzettingomstandigheden sterk af van de gewenste (te lage temperatuur) en zal de productie van NH_3 laag zijn. Tevens vindt tijdens deze fase condensatie plaats en zal NH_3 deels oplossen in het condensaat. Voor de andere extreem lage NH_3 -concentraties in de lucht uit de BTU kon geen verklaring worden gevonden.

Gedurende de eerste meetperiode was de variatie in de NH_3 -concentratie na de wasser groot (0,29 tot 227,69 mg/m³). Tijdens de tweede meetperiode was dit veel geringer (0,69 tot 7,06 mg/m³). De hoge ammoniakconcentraties tijdens van de eerste meetperiode leken het gevolg van een minder goed functionerende wasser. Dit kan veroorzaakt zijn door een te hoge pH van het waswater, een slechte verdeling van de wasvloeistof in de wasser of een te korte verblijftijd van de te wassen lucht in de wasser. De werking van de wasser was in het algemeen goed. Zonder technisch ingrijpen bleek dat na een meting met een hoge NH_3 uitstoot na de wasser, een meting volgde met een aanzienlijk lagere NH_3 uitstoot.

In Tabel 9 worden de resultaten van het huidige onderzoek, het gemiddelde over twee meetperioden, vergeleken met het optimalisatie-onderzoek aan dezelfde mestverwerkingsinstallatie (Klarenbeek *et al.*, 1999) en met onderzoek aan een soortgelijke installatie (Hol en Satter, 1997).

Tabel 9 Overzicht van de resultaten van het huidige onderzoek en onderzoek van Klarenbeek *et al.*, Hol en Satter.
Table 9 Overview of the results of the current research and research carried out by Klarenbeek *et al.*, Hol and Satter.

	Huidig onderzoek	Klarenbeek <i>et al.</i> (1999)	Hol en Satter (1997)
Drogestofgehalte van mest uit de stal (%)	49,9	54,4	47,1
Drogestofgehalte van gecomposteerde mest (%)	80,9	83,2	74,4
NH ₃ -concentratie composteringslucht (mg/m ³)	378	184	380
NH ₃ -concentratie na chemische wasser (mg/m ³)	18	11	18
Reductie of wasrendement (%)	94	88	95
Emissie na wasser (g/jaar per dierplaats)	3,6	3,8	6,4

De gemiddelde resultaten van de drie onderzoeken kwamen redelijk overeen. Bij een goed functioneerde wasser in het huidige onderzoek (gemiddeld: 18 mg/m³; periode 2: 2,93 mg/m³) waren de NH₃-concentraties uit de wasser aanzienlijk lager dan tijdens het onderzoek van Hol en Satter (18 mg/m³). Bij het optimalisatie onderzoek van Klarenbeek *et al.* (1999) waren technische storingen met de wasser verantwoordelijk voor het lagere wasrendement.

5 Conclusies

De ammoniakconcentraties van de lucht voor de wasser was gemiddeld 378 mg/m³. De ammoniakconcentraties van de gewassen lucht was gemiddeld 18 mg/m³. De gemiddelde reductie voor de twee perioden bedroeg achtereenvolgens 92 en 97%. De berekende gemiddelde NH₃-emissie over beide perioden bedroeg 3,6 g/jaar per dierplaats.

Het gemiddelde drogestofgehalte van de voorgedroogde mest uit de stal voor de eerste en tweede meetperiode bedroeg 513 g/kg en 485 g/kg. De biothermische gedroogde mest had een drogestofgehalte van respectievelijk 834 en 784 g/kg. Deze drogestofgehalten waren lager dan de beoogde 550 g/kg voorgedroogde mest uit de stal en 850 g/kg na biothermische droging.

Summary

Deposition of ammonia, besides NO_x and SO_x deposition, causes acidification and eutrophication of the environment. Animal husbandry is the main source of ammonia emission in the Netherlands. The policy of the Dutch government aims at a reduction of 50% in the 2000 and 70% in 2005, as compared with the emission level in 1980. Within this framework research was carried out into the emission of ammonia from a manure processing installation that was developed and used in the project 'Het Zuivere Ei'. The dry matter of the pre-dried manure of laying hens (55%) could be raised until at least 85% by composting the manure in this installation. This way of composting is called 'biothermal drying', where through high temperatures during drying pathogenic germs were killed. The air out of the installation, with ammonia, was treated with a chemical scrubber with an intended result of 90% efficiency.

The manure that was composted was from 155,000 laying hens that were housed in battery cages with manure belts. The manure of the hens was gathered on the manure belts and intensively pre-dried (minimum air flow $0.7 \text{ m}^3/\text{animal}$; minimum temperature of the drying air 17°C), as described in the 'Groen Label' recognition NR. BB 97.07.058 (Groen Label, 1997). Twice a week the manure on the belts was transported to one of the two manure boxes of the biothermal drying unit (BDU). Air was blown through the boxes for the removal of the water from the manure and for the regulation of temperature. Part of the air (with ammonia) from the BDU was removed by leading it through a chemical scrubber. The used chemical scrubber worked with a so called cross stream principal. In the washing section the air was intensively brought in contact with the washing liquid. Because of this the ammonia dissolved into the acid washing liquid. The washing liquid consisted of water that was acidified with sulphuric acid (46%) until acidity of 4.5. The dissolved ammonia was neutralised with the sulphuric acid to ammoniumsulphate.

During two periods research was carried out into the ammonia emission of the installation, a view parameters of the process, the composition of the manure before and after composting, and the efficiency of the chemical scrubber. The efficiency of the chemical scrubber could be calculated with the ammonia concentration before and after the scrubber.

The ammonia concentration before the chemical scrubber was between 6 and 794 mg/m^3 (average 378 mg/m^3). The ammonia concentration of the scrubbed air was between 0.3 and 228 mg/m^3 (average 18 mg/m^3). The average efficiency for the two periods was 92 and 97%, respectively. The average ammonia emission for both periods was 3.6 g/year per animal place. The average dry matter content of the manure from the belts was 513 and 485 g/kg for the first and second measuring period. The composted manure had a dry matter content of 834 and 784 g/kg , respectively. These results were lower than the aimed 550 g/kg from the belts and 850 g/kg after composting.

Literatuur

Berckmans, D., Ph. Vandenbroeck en V. Goedseels, 1991. Sensor for continuous measurement of the ventilation rate in livestock buildings. *Indoor Air* 3: 323-336.

Groen Label, 1996a. Groen Label nummer BB 96.10.042. Biologisch luchtwassysteem voor vleesvarkens, kraamzeugen, guste en dragende zeugen, gespeende biggen en beren, Air Totaal B.V., Koningslust, 10 oktober 1996, Stichting Groen Label, Deventer / Rijswijk

Groen Label, 1996b. Groen Label nummer BB 96.10.043 + 3 bijlagen. Chemische luchtwassysteem voor vleesvarkens, kraamzeugen, guste en dragende zeugen, gespeende biggen en beren, Bovema Konstrukties b.v. Milsbeek. 10 oktober 1996, Stichting Groen Label, Deventer / Rijswijk.

Groen Label, 1997. Groen Label nummer BB 97.07.058 Mestbandbatterij met geforceerde mest-droging (mestafdraaien per 5 dagen), Nederlandse Organisatie van Pluimveehouders, Zeist. 3 juli 1997, Stichting Groen Label, Deventer / Rijswijk.

Heij, G.J. en T. Schneider, 1995. Dutch priority programme on acidification. Final report third phase Additional programme on acidification no. 300-05, 160 pp.

Hol, J.M.G. en I.H.G. Satter, 1997. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen XXXIII; Behandeling van lucht uit een composteringsbak voor voorgedroogde leghennenmest door een fysisch-chemische wasser. DLO, Wageningen, Rapport 97-1003, 18pp.

Integrale Notitie Mest- en Ammoniakbeleid, 1995. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke ordening en Milieubeheer en Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, SDU-uitgeverij, 's-Gravenhage, 36 pp.

Klarenbeek, J.V., W. Kroodsmä, W. Willemsen, G.J. Monteny en A.J. Cuperus, 1999. Over de praktische werking van het biothermisch drogen van leghennenmest. Wageningen, IMAG-DLO. Nota P99-32, 24pp exl. bijlagen.

Notitie Mest- en Ammoniakbeleid derde fase, 1993. Tweede kamer, vergaderjaar 1992-1993, 19882, nr. 34, SDU-Uitgeverij, 's-Gravenhage, 55 pp.

Satter, I.H.G., 1996. Biowassers in Nederland. Wageningen, Vakgroep Agrotechniek en -fysica, afstudeerscriptie.

Scholtens, R. en C.E. van 't Klooster, 1993. Meetventilator. In: E.N.J. Ouwerkerk (Ed.): Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 16, DLO, Wageningen, p. 59-62.

Stouthart F., E. van de Hengel en W. van Vendel, 1998. Het Zuivere Ei een handreiking voor gemeenten. Bureau Toepassing Emissiearme Stallen, Tilburg, 47pp.

Weerdhof, A. van de, 1994. Wettelijke regels voor de huisvesting van leghennen. In: Info-bulletin pluimveehouderij, IKC-veehouderij, Ede, nr 1: p24-25.

Wintjens, Y., 1993. Gaswasfles. In: E.N.J. van Ouwerkerk (Ed.): Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 16, DLO, Wageningen, p.38-40.

Wijziging Uitvoeringsregeling Ammoniak en Veehouderij, 1999. Interimwet Ammoniak en Veehouderij, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Staatscourant 139, Den Haag, p. 16-18.

Bijlagen

BIJLAGE A	Kader en contactpersonen DLO-meetploeg
BIJLAGE B	Plattegrond BioThermische droogUnit (BTU)
BIJLAGE C	Voorbeeld van procesvolgorde (vullen en nabroei van de mest)
BIJLAGE D	Kalibratieresultaten meetventilator
BIJLAGE E	Resultaten NH ₃ -metingen