

Vermindering ammoniak- emissie door gebruik van biofilters

PROPRO-project Luchtzuivering
vleesvarkensstallen

*Reduction of ammonia emission from pig
houses using biofilters*

Ing. G.H. Uenk
Ir. G.J. Monteny
Ir. T.G.M. Demmers
M.G. Hissink

imag-dlo



CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Uenk, G.H.

Vermindering ammoniakemissie door gebruik van biofilters / G.H. Uenk . . [et al.. – Wageningen : IMAG-DLO. – (Rapport / Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen ; 93-28)

PROPRO-project 'Luchtzuivering vleesvarkensstallen', – Met lit. opg. – Met samenvatting in het Engels.

ISBN 90-5406-059-X geb.

NUGI 849

Trefw.: ammoniak-emissie ; varkenshouderij.

© 1993

IMAG-DLO

Postbus 43 – 6700 AA Wageningen

Telefoon 08370-76300

Telefax 08370-25670

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, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

Abstract

Within the framework of the field study project, (so called PROPRO) techniques to reduce the ammonia emission were demonstrated on farm scale.

During a two year period the reduction of ammonia emission by biofilters and the fitting-in in pig farm management was studied.

Keywords: air-treatment, biofilters, functioning at farm scale (pig houses), ammonia emission, and ammonia reduction efficiency.

Voorwoord

In het kader van het PRaktijk Onderzoek PROject 'beperking ammoniakemissie veehouderijbedrijven' (PROPRO) Noord-Brabant is in het proefgebied Oisterwijk/Moergestel onderzoek uitgevoerd met als doel om de reductie van de ammoniakuitstoot door bruikbare technieken en systemen te demonstreren en deze te toetsen op technische en economische aspecten en bedrijfsinpasbaarheid.

Het project is gefinancierd door het Financieringsoverleg Mest- en Ammoniak-onderzoek (FOMA). Het onderzoek werd gezamenlijk uitgevoerd door het Proefstation voor de Varkenshouderij en IMAG-DLO. Het project is gecoördineerd door Heidemij Advies.

In dit rapport staat het onderdeel luchtzuivering door biofiltratie centraal. Op twee vleesvarkensbedrijven werd de lucht met biofilters behandeld. Uit het onderzoek is informatie verkregen die kan bijdragen aan een verdere ontwikkeling en introductie van deze luchtzuiveringstechniek.

Een woord van dank is verschuldigd aan de twee betrokken varkenshouders, voor hun gastvrijheid en medewerking.

Ir. A.A. Jongebreur
directeur

Inhoud

Samenvatting	6
1 Inleiding	7
2 Materiaal en methode	8
2.1 Biofiltratie	8
2.2 Locaties en technische voorzieningen	9
2.2.1 Oisterwijk	9
2.2.2 Moergestel	9
2.3. Metingen	12
3 Resultaten en discussie	14
3.1 Locatie Oisterwijk	14
3.1.1 Technisch functioneren	14
3.1.2 Ammoniakverwijderingsrendement	16
3.1.3 Spuiwatersamenstelling	17
3.1.4 Bevochtiging	17
3.2 Locatie Moergestel	21
3.2.1 Technisch functioneren	21
3.2.2 Ammoniakverwijderingsrendement	23
3.2.3 Spuiwatersamenstelling	24
4 Conclusies en aanbevelingen	25
4.1 Locatie Oisterwijk	25
4.2 Locatie Moergestel	26
Summary	27
Literatuur	28

Samenvatting

Binnen het PRaktijk Onderzoek PROject 'beperking ammoniakemissie veehouderij-bedrijven' (PROPRO) Noord-Brabant is op twee praktijkbedrijven (met ieder ca. 600 vleesvarkensplaatsen) onderzoek uitgevoerd naar de werking van biofilters voor de verwijdering van ammoniak uit lucht afkomstig uit vleesvarkensstallen. Als filtermateriaal werd respectievelijk compost/boomschors en heide/turf gebruikt.

Bij beide biofilters bleek al snel dat bij het ontwerp onvoldoende rekening was gehouden met de hoge drukval die over het filter zou kunnen optreden. Dit had tot gevolg dat er onvoldoende ventilatiecapaciteit aanwezig was, waardoor stalklimaatproblemen optraden. Als gevolg hiervan waren de biofilters een groot deel van de meetperiode niet in bedrijf.

Uit de verrichtte rendementmetingen is gebleken dat voor een ammoniakreductie van ca. 70% het drogestofgehalte van het filtermateriaal niet hoger mag zijn dan ca. 50% droge stof. Indien het filtermateriaal voldoende vochtig was (< 50% droge stof), waren rendementen van boven de 90% mogelijk.

Het bevochtigen van de lucht in de drukkamer door middel van sproeiers onder een hoge druk of een ultrasoonvernevelaar (later vervangen door schotelvernevelaar) bleek onvoldoende te werken.

Met name gedurende de zomerperioden zal het filtermateriaal extra (van bovenaf) bevochtigd moeten worden om een goede werking te kunnen waarborgen.

Bij één van de biofilters is de werking van een bevochtigingsinstallatie om het filtermateriaal van bovenaf te bevochtigen uitgetest. Deze bevochtiging werd gestuurd op basis van temperatuurverschillen tussen de lucht in de drukkamer en het filtermateriaal. Op basis van deze temperatuurverschillen bleek het mogelijk om uitdroging van het filtermateriaal te signaleren. Het moet mogelijk zijn op deze basis een sturing van de bevochtiging te ontwikkelen. Dit laatste aspect is echter niet nader onderzocht.

Het was belangrijk dat de stallucht werd ontdaan van stof. Als dit niet of onvoldoende gebeurde, dan hoopte het stof zich op in het filtermateriaal. De gebruikte stoffilters die bij deze biofilters gebruikt werden moesten wekelijks schoongemaakt worden om het ventilatiedebiet op peil te houden.

1 Inleiding

In 1987 is het PRaktijk Onderzoek PROject 'beperking ammoniakemissie veehouderij-bedrijven' (PROPRO) Noord-Brabant gestart. Het project dat gefinancierd werd door het Financieringsoverleg Mest- en Ammoniakonderzoek (FOMA), had tot doel het testen van in principe ammoniakemissie-arme systemen in de praktijk.

In het deelproject 'Luchtzuivering bij varkensstallen' werd de ventilatielucht van twee vleesvarkensstallen met biofilters behandeld. Als filtermateriaal werd respectievelijk compost-boomschors en heide-turf gebruikt.

Doel van het door het IMAG-DLO uitgevoerde onderzoek was om het gebruik van biofilters in de praktijk uit te testen en het ammoniakverwijderingsrendement te bepalen. De ventilatielucht van twee vleesvarkensstallen (met ca. 600 dierplaatsen) werd met biofilters behandeld.

In de landbouw wordt het gebruik van biofilters om lucht uit varkensstallen van ammoniak te zuiveren nog weinig toegepast. In de industrie wordt biofiltratie veel toegepast om de geuremissie te beperken.

Uit semi-technisch onderzoek is gebleken dat door middel van biofiltratietechnieken de ammoniakemissie met 70 - 99% teruggebracht kan worden (Demmers, 1992).

Praktijkonderzoek was tot nu toe nog niet uitgevoerd.

Het onderzoek binnen dit deelproject is gezamenlijk uitgevoerd met het Proefstation voor de Varkenshouderij (PV). Het onderzoek van het PV richtte zich met name op de bedrijfsinpasbaarheid van de biofilters, waarbij vooral arbeidstechnische en economische aspecten werden onderzocht. De resultaten zijn beschreven in P1. 99: 'Ervaringen met biobedden op vleesvarkensbedrijven in PROPRO' (Van de Sande-Schellekens en Backus, 1993).

2 Materiaal en methode

2.1 Biofiltratie

Het werkingsprincipe van biofiltratie (biofilters en biowassers) is gebaseerd op twee processen, t.w. een fysisch/chemisch en een microbiologisch proces (Demmers, 1992). Het fysisch/chemisch proces wordt gekarakteriseerd door stofoverdracht als gevolg van een verschil in de concentratie van de te verwijderen stof (ammoniak) in de lucht en in de vloeistoffase [1]. De drijvende kracht achter dit proces is groter naarmate het concentratieverschil groter is. De stofoverdracht van lucht naar water is een evenwichtsproces, dat voor ammoniak als volgt wordt weergegeven.

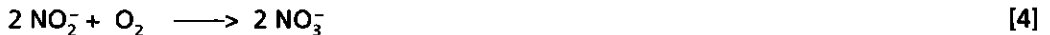


Na de overdracht naar het water wordt de ammoniak voor een deel gesplitst in ammonium en loog [2].



Hierdoor wordt de ammoniakconcentratie in de vloeistoffase verlaagd. Ook dit fysisch/chemisch proces is een evenwichtsproces. Als niets wordt gedaan om het ammonium (NH_4^+) weg te nemen, zullen ammoniak en ammonium zich tot maximum concentraties in de vloeistoffase ophopen.

Het laag houden van de ammoniumconcentratie in de vloeistoffase kan onder andere plaats vinden door microbiologische omzettingen van ammonium (nitrificatie). Het ammonium kan door specifieke micro-organismen (nitrobacter spp.) worden omgezet in nitriet [3] en vervolgens in nitraat [4] (nitrosomonas spp.).



Aangezien hoge concentraties ammonium, nitriet en nitraat in de vloeistoffase het biologische proces remmen, is het noodzakelijk dat de concentraties laag blijven. Dit kan door regelmatig een deel van deze stikstofzouten uit het systeem te verwijderen door het doorspoelen van het filtermateriaal.

Een biofilter vergt, afhankelijk van het contactmateriaal (turf, heide of compost), een relatief groot grondoppervlak. Het contact tussen water en lucht is in een biofilter weinig intensief. Dit wordt veroorzaakt door de lage luchtsnelheden door het filtermateriaal. De contacttijd tussen water en lucht is hierdoor lang, nl. ca. 10 seconden. Voor een goede overdracht van de ammoniak van de lucht naar het water is het van belang dat de luchtverdeling over het biofilter goed is en dat het contactmateriaal voldoende vochtig is en blijft. Beide zaken hangen nauw met elkaar samen: droge plekken in een biofilter hebben een lagere luchtweerstand dan vochtige plekken. Hierdoor zal een verhoudingsgewijs groot deel van de lucht door deze droge plekken

ontsnappen en niet of onvoldoende worden behandeld. Op deze droge plekken is namelijk geen of te weinig water aanwezig voor een goede uitwisseling van ammoniak tussen lucht en water. Te natte plekken hebben een hogere luchtweerstand dan de rest van het filter. Hierdoor wordt op deze plekken minder lucht behandeld. Dit heeft tevens tot gevolg dat op deze plekken een gebrek aan zuurstof ontstaat, waardoor de micro-organismen slecht gaan functioneren en bij een langdurige zuurstofloze periode zelfs afsterven.

Bevochtiging van het filtermateriaal is noodzakelijk omdat het als gevolg van de droge lucht uit de stal langzaam uitdroogt. Hiervoor zijn twee alternatieven nl. bevochtiging van de lucht voordat deze door het filter stroomt, of bevochtiging van het filtermateriaal aan de bovenzijde van het filter.

De bevochtiging van de lucht voordat deze het biofilter stroomt is een continu proces. De bevochtigde lucht zal condenseren in het filtermateriaal als gevolg van een daling van temperatuur van de stallucht bij intrede in het filter. Dit geldt echter alleen als de lucht vrijwel geheel is verzadigd met waterdamp en/of als het temperatuurverschil tussen het filtermateriaal en de luchttemperatuur voldoende hoog is.

De bevochtiging van boven af bijv. door middel van sproeiers, is een discontinu proces. Het is niet eenvoudig te automatiseren, omdat de meting van de vochtigheid van het filtermateriaal problematisch is.

Ter voorkoming van verstopping van het filtermateriaal moet de lucht voor het biofilter worden ontdaan van stof. Hiervoor kunnen verschillende typen stoffilters worden gebruikt. Deze moeten regelmatig worden schoongemaakt.

2.2 Locaties en technische voorzieningen

2.2.1 Oisterwijk

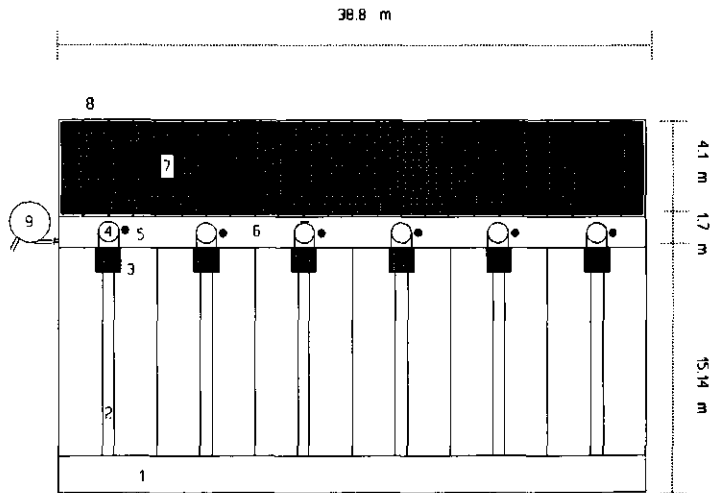
Op een vleesvarkensbedrijf te Oisterwijk werd in november 1990 een biofilter geplaatst. Door dit filter werd de lucht van een vleesvarkensstal met 6 afdelingen van elk ca. 90 varkens gezuiverd. Als filtermateriaal werd een mengsel van compost en boomschors gebruikt.

In figuur 1 wordt in een bovenaanzicht de ligging van het filter ten opzichte van de stal weergegeven. Figuur 2 toont in een zijaanzicht de beweging van de lucht in het systeem.

2.2.2 Moergestel

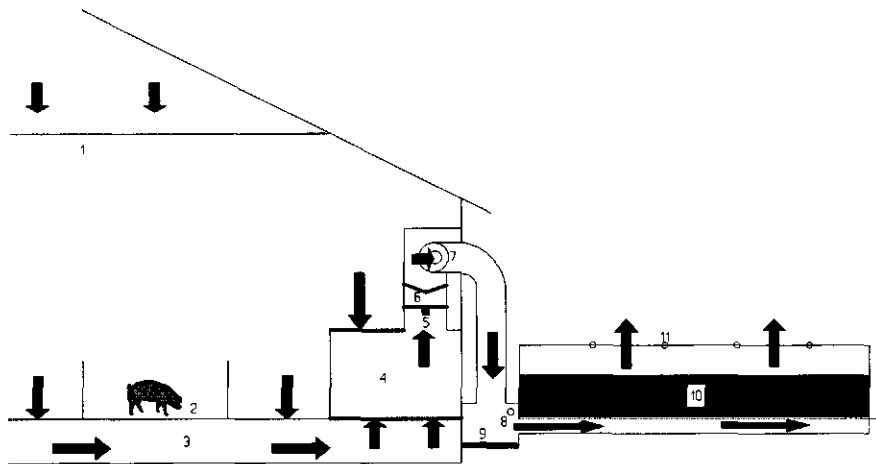
Op een vleesvarkensbedrijf te Moergestel werd in november 1990 een biofilter geplaatst. Door dit biofilter werd de lucht gezuiverd van een vleesvarkensstal met 7 afdelingen van elk ca. 100 varkens. Als filtermateriaal werd een mengsel van turf en heide gebruikt.

In figuur 3 wordt de ligging van het filter ten opzichte van de stal weergegeven. In de figuren 3 en 4 wordt de beweging van de lucht door het systeem geschetst.



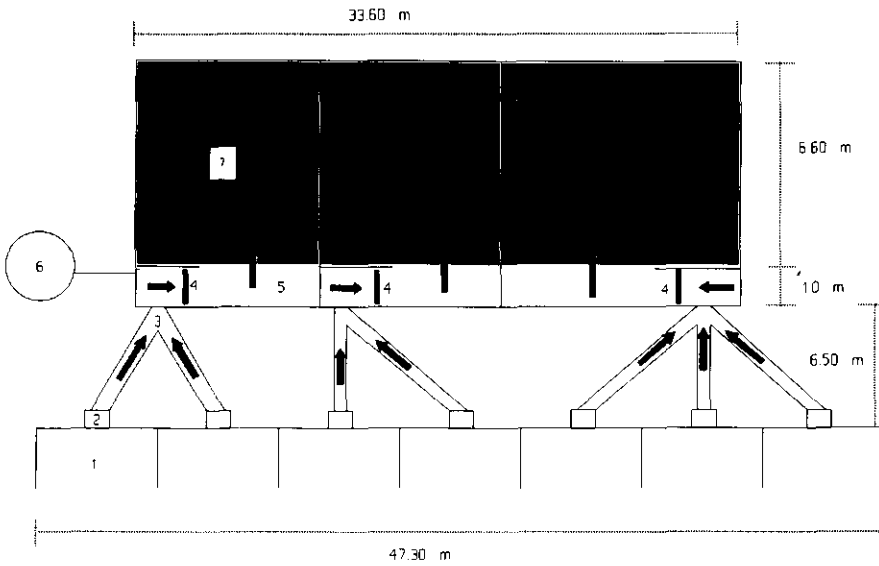
Figuur 1 Bovenaanzicht ligging stal en biofilter. 1: centrale gang, 2: voergang, 3: stoffilterkast met ventilatoren, 4: geleidekanaal tussen ventilatoren en drukkamer, 5: controleluiken voor bevochtiging, 6: drukkamer, 7: filtermateriaal, 8: biofilter, 9: spuitput.

Figure 1 Top view of pig house and biofilter. 1: central passage, 2: feeding passage, 3: dust filter with fans, 4: connection between fans and pressure cabin, 5: control valves for moistening, 6: pressure cabin, 7: filter material, 8: biofilter, 9: waste water storage.



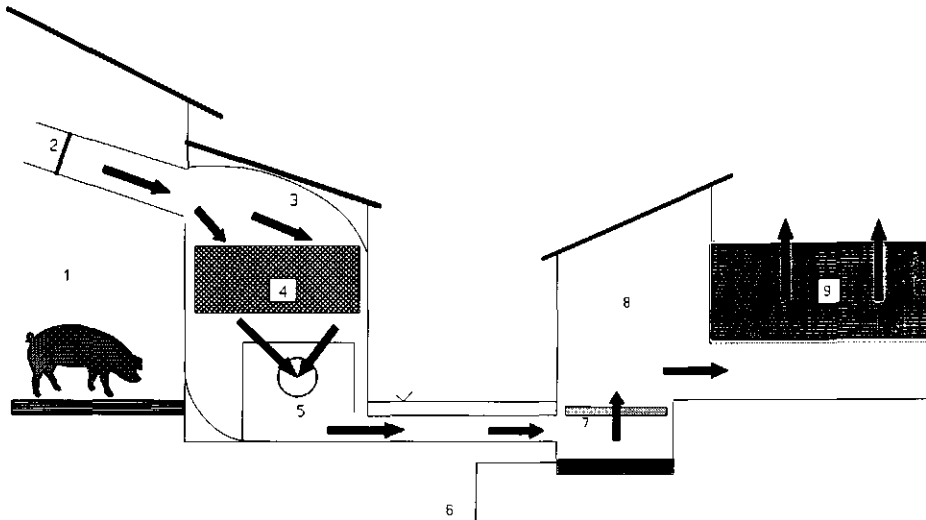
Figuur 2 Schematische weergave luchtstroming door het systeem. 1: gaatjesplafond, 2: afdelingshokken met varkens, 3: mestkelder, 4: kast met stoffilters, 5: meetventilator, 6: terugslagklep, 7: centrifugaalventilatoren (2 stuks), 8: leiding met sproeiers voor onderbevochtiging, 9: drukkamer, 10: filtermateriaal, 11: bovenbevochtiging.

Figure 2 Schematic view of air flow through the system. 1: perforated plastic ceiling, 2: pig-sties, 3: manure pit, 4: dust filters, 5: measuring fan, 6: repercussion valve, 7: centrifugal fans (2), 8: water pipe for moisturing the air in the pressure cabin, 9: pressure cabin, 10: filter material, 11: installation for moisturing the top of the filter.



Figuur 3 Bovenaanzicht stal en biofilter en luchtstromingspunten. 1: afdelingen (7 stuks), 2: kast met ventilatoren, 3: ondergrondse luchtkanalen, 4: bevochtiging, 5: drukkamer, 6: spuiput, 7: biofilter.

Figure 3 Top view of pig house and biofilter and air flow pattern. 1: pig house with compartments, 2: dust filter with measurement fan and centrifugal fans, 3: underground connection between fans and pressure cabin, 4: moisturizing spots, 5: pressure cabin, 6: waste water storage, 7: biofilter.



Figuur 4 Schematische weergave luchtstroming door het systeem. 1: afdeling met varkens, 2: meet-ventilator, 3: luchtgeleideplaten, 4: stoffilters, 5: ventilatoren, 6: afvoer spuiwater, 7: luchtbevochtiging, 8: drukkamer, 9: filter met heide/turf.

Figure 4 Schematic air flow pattern through the system. 1: pig-sties, 2: measuring fan, 3: air conducting panels, 4: dust filters, 5: centrifugal fans, 6: discharge waste water, 7: moisturizing of the air in the pressure cabin, 9: filter material.

2.3. Metingen

Om het begeleidend onderzoek op beide lokaties te kunnen uitvoeren werden de volgende aanpassingen gedaan. In de ventilatiekoker van elke afdeling werd een meetventilator geplaatst om het luchtdebiet te kunnen registreren. Deze werd ook gebruikt als toerenterugmelding voor de regeling van de klimaatcomputer die de ventilatoren aanstuurde. De hoeveelheid water die gebruikt werd voor de bevochtiging van het filtermateriaal kon op een watermeter afgelezen worden. Het spuiwater werd via een spuiput overgepompt naar een kelder. Het spuidebiet werd in de put gemeten met behulp van een niveaugeschakelde pomp. Het aantal malen dat de pomp aansloeg werd door een pulssteller waargenomen.

De biofilters zouden in de beginperiode éénmaal per drie weken worden onderzocht en vervolgens éénmaal per vier weken. Dit is in de loop van het onderzoek gewijzigd, doordat de biofilters een groot deel van de meetperiode niet werden gebruikt. Na diverse aanpassingen konden pas aan het eind van de onderzoeksperiode rendementsmetingen worden verricht.

Het volgende meetprogramma werd uitgevoerd:

- NH_3 -concentratie in de stallucht van 2 naast elkaar gelegen afdelingen;
- NH_3 -concentratie in de lucht die uit het biofilter kwam (op drie plaatsen, ter hoogte van de 2 afdelingen waarvan ook de ingaande NH_3 -concentratie werd gemeten);
- ventilatiedebiet van alle afdelingen;
- samenstelling en debiet van het spuiwater;
- waterverbruik van de bevochtigingsinstallatie.

Het ammoniakverwijderingsrendement van een biofilter werd op de volgende wijze bepaald. De ammoniakconcentratie in de stallucht werd nat-chemisch gemeten.

De ammoniakconcentraties van de in- en uitgaande luchtstroom van het biofilter werd gemeten door een bepaalde hoeveelheid lucht te leiden door een buisje met salpeterzuur (concentratie 30 mmol). Het NH_4^+ -N-gehalte in deze vloeistof werd vervolgens in het laboratorium bepaald volgens NEN 6472.

Deze concentratie, vermenigvuldigd met het luchtdebiet, gaf de belasting met ammoniak weer. Omdat het niet mogelijk was een monster van de totale hoeveelheid uittredende lucht uit het biofilter te nemen, werd de concentratie in de uittredende lucht op een drietal plaatsen gemeten. Hiervoor werd een koker gebouwd (grondoppervlak van 0,65 m bij 0,65 m), waarin de ammoniakconcentratie in de lucht en de luchtsnelheid op dat deel van het biofilter gemeten konden worden. Het luchtdebiet maal de uitgaande concentraties, gecorrigeerd met de relatieve luchtsnelheid op de 3 bemonsterde plaatsen, gaf de hoeveelheid ammoniak aan die na het doorvoeren van de lucht door het biofilter nog ontweek. Deze hoeveelheid vergeleken met de ammoniakbelasting leverde het rendement op.

In het waswater werden de ammonium- (NH_4^+ -N, NEN 6472), nitriet- (NO_2^- -N, NEN 6474) en nitraatconcentratie (NO_3^- -N, NEN 6440) bepaald. De pH werd gemeten met een (WTW) glaselectrode en het zuurstofgehalte (O_2) met een (WTW) elektrode.

Incidenteel werd ook de drukval gemeten ('Dwyer Mark 11 Manometer model MM-80').

Voor de locatie Oisterwijk werd, naast het reeds genoemde programma, onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden voor sturing van de bevochtiging. Tijdens het onderzoek zijn negen temperatuursensoren in het biofilter geplaatst. Met deze sensoren kon op drie plaatsen in het biofilter in een verticaal vlak de temperatuur van de lucht in de drukkamer en de onderste en bovenste laag van het filtermateriaal gemeten worden. De sturing van de bovenbevochtigingsinstallatie was gebaseerd op afkoeling van het filtermateriaal als gevolg van de verdamping van water uit dit filtermateriaal. De voelers die in de drukkamer waren geplaatst gaven de temperatuur van de bevochtigde lucht weer. De voelers onderin en bovenin het filtermateriaal gaven de temperatuur van het filtermateriaal weer. Als er geen verschil was tussen de temperatuur van de ingaande lucht en het filtermateriaal, dan vond er geen verdamping of condensatie van waterdamp in het filtermateriaal plaats.

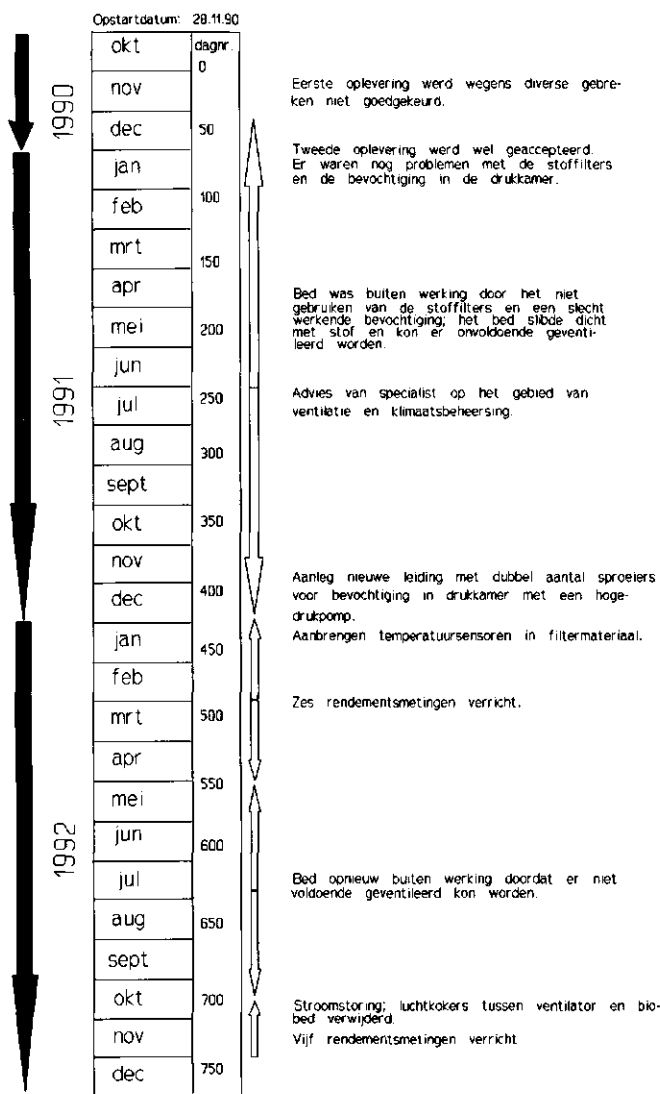
Werd het verschil in temperatuur tussen het filtermateriaal en van de intredende lucht kleiner, dan vond er verdamping plaats (het filtermateriaal droogde uit). Dit was de meest voorkomende situatie. Als de verdamping als gevolg van vergaande uitdroging van het filtermateriaal afnam, was er geen temperatuurverschil meer.

3 Resultaten en discussie

3.1 Locatie Oisterwijk

3.1.1 Technisch functioneren

In onderstaande figuur wordt een overzicht gegeven van het uitgevoerde onderzoek, de ondervonden problemen en de aangebrachte veranderingen.



Figuur 5 Tijdschema onderzoek, technische problemen en oplossingen biofilter locatie Oisterwijk.
Figure 5 Time path of the experiments, technical problems and solutions biofilter at Oisterwijk.

Het biofilter werd november 1990 opgeleverd. Er werden nog de volgende gebreken geconstateerd:

- onvoldoende druk op de leiding voor de onderbevochtiging in de drukkamer;
- sproeiers raakten zeer snel verstopt;
- positie van de meetventilator moest verbeterd worden;
- problemen met stoffilters;
- bevestiging van de luchttransportkokers aan de buitenmuur was onvoldoende stevig, waardoor deze van de muur afgedrukt werden.

In december 1990 werd het filter opnieuw aangepast, maar waren er nog de volgende problemen:

- niet goed functionerende bevochtiging. De sproeiers in de drukkamer bleken zeer gevoelig voor stof en raakten daardoor snel verstopt;
- stoffilters moesten (te) vaak schoongemaakt worden. In de praktijk had dat tot gevolg dat ze niet meer gebruikt werden.

Na deze tweede oplevering moest het biofilter al snel opengelegd (geheel of gedeeltelijk verwijderen van het filtermateriaal) worden. Het filtermateriaal was dichtgeslibd met stof, door het niet gebruiken van de stoffilters en een slecht werkende bevochtiging. Er kon daardoor niet voldoende geventileerd worden om een goed stalklimaat te handhaven.

In juni 1991 werden er door een gespecialiseerd bedrijf op het gebied van ventilatietechniek en klimaatbeheersing de volgende aanpassingen geadviseerd:

- het aanbrengen van geleideplaten in de centrale drukkamer, waardoor een betere luchtgeleiding zou ontstaan en de lucht in de drukkamer snelheid kon verminderen;
- het installeren van sproeikoppen tegen de luchtstroming in (capaciteit 15 liter per uur). Het water kon dan door middel van hoge druk fijn verneveld worden;
- afsluiten van openingen in de drukkamer, zodat nog niet bevochtigde lucht niet onder het filter kon komen;
- vooral gedurende de zomermaanden zou het filtermateriaal ook van boven bevochtigd moeten worden. Door het aanbrengen van temperatuursensoren in de drukkamer en het filtermateriaal zou deze bevochtiging op basis van temperatuurverschillen tussen lucht en filtermateriaal computermatig gestuurd kunnen worden.

Van deze adviezen is in het begin alleen het volgende gerealiseerd. Voor de onderbevochtiging in de drukkamer werd een nieuwe leiding met sproeiers en een hoge-druk-pomp geïnstalleerd. Dit functioneerde technisch goed; er trad geen verstopping van de sproeiers meer op. Later werden een bovenbevochtigingsinstallatie en temperatuursensoren geplaatst.

Begin mei 1992 moesten de metingen worden gestaakt, omdat niet voldoende geventileerd kon worden. Er waren toen zes rendementsmetingen verricht.

Uit debietmetingen bleek dat er per afdeling minder dan 5.000 m³/uur geventileerd werd, terwijl voor deze afdelingen van ca. 90 varkens een debiet van ca. 7.200 tot 9.000 m³/uur (Handboek voor de Varkenshouderij, 1993) gewenst was. Ook met het opengelegd biofilter werd dit niveau nauwelijks gehaald.

In november 1992 zijn er nog 5 rendementsmetingen uitgevoerd. Ook tijdens deze periode was de ventilatiecapaciteit onvoldoende. Bij enkele drukvalmetingen bleek dat in de drukkamer bij normale ventilatie een hoge druk van ruim 400 Pa werd opgebouwd. Eggels en Scholtens (1989) vonden een drukval bij een biofilter (turf/boomschors) van maximaal 250 Pa. Kort na de laatste rendementsmeting werd ongeveer de helft van het filtermateriaal uit het biofilter verwijderd (laagdikte van 40 naar 20 cm). Uit een drukvalmeting die daarna nog werd uitgevoerd, bleek dat de drukopbouw in de drukkamer nog ca. 100 Pa was. Dit zal waarschijnlijk niet hebben geresulteerd in een hoger luchtdebiet, omdat centrifugaalventilatoren hogere drukvallen kunnen overwinnen, zonder dat de verplaatste hoeveelheid lucht verandert.

3.1.2 Ammoniakverwijderingsrendement

Er werden totaal 11 metingen om het ammoniakverwijderingsrendement te bepalen uitgevoerd, opgedeeld in 2 series.

Gedurende de periode januari tot en met april 1992 zijn, nadat het filtermateriaal uit het filter verwijderd en homogeen bevochtigd teruggeplaatst was, een zestal rendementsmetingen uitgevoerd (tabel 1).

Tabel 1 Rendement en het drogestofgehalte onderin en bovenin het filtermateriaal.

Table 1 Efficiency and dry-matter in the bottom layer and the top layer of the filter material.

Dagnummer	Rendement (%)	Drogestofgehalte (%)	
		onderin filter	bovenin filter
420	41	70	43
434	70	71	35
449	46	72	73
462	9	80	75
483	92	43	46
504	63	76	54

Al snel bleek dat het biofilter uitdroogde, zodat bevochtiging van bovenaf noodzakelijk zou zijn. Op dag 462 (4^e meting), was het filter grotendeels uitgedroogd. Het filter werd enkele dagen voor dag 483 en dag 500 met behulp van een waterslang van boven nat gemaakt. Door deze behandeling steeg het rendement tot respectievelijk 92 en 63%. Op het moment dat het biofilter bovenin nog voldoende vochtig was (ca. 50% ds) was de werking nog redelijk: de reductie bedroeg ca. 60%. Op het moment dat het materiaal zowel bovenin als onderin uitgedroogd was, bleek de werking slecht te zijn.

Aanpassing van de bevochtiging was noodzakelijk om het filter goed te kunnen laten functioneren. De voorkeur werd gegeven aan het van bovenaf bevochtigen van het filter. Hiervoor moest er boven op het filter een sproei-installatie aangelegd worden.

De tweede serie metingen werd uitgevoerd met deze bovenbevochtiging, die door een tijd klok bestuurd werd. De tijd klok werd zo ingesteld dat het filtermateriaal (visueel en op basis van de temperatuursensoren) voldoende vochtig bleef. De resultaten van deze 5 rendementsmetingen staan in tabel 2.

Tabel 2 Rendement en drogestofgehalte onderin en bovenin het filtermateriaal bij de tweede serie metingen met bovenbevochtiging.

Table 2 Efficiency and dry-matter in the bottom and the top layer of the filter material with top sprinkler system.

Dagnummer	Rendement (%)	Drogestofgehalte (%)	
		onderin filter	bovenin filter
694	99	37	33
707	99	37	31
715	99	35	33
722	75	49	39
728	99	38	33

Het rendement van het biofilter was in die periode in het algemeen zeer goed (ca. 99%). Op dag 722 was het rendement minder goed doordat één van de drie plaatsen waar de door het filter gevoerde lucht bemonsterd werd, droger was dan op andere plaatsen. Dit is ook terug te vinden in het gemiddelde drogestofgehalte (dag 722).

3.1.3 Spuiwatersamenstelling

De samenstelling van het spuiwater uit het biofilter wordt in tabel 3 weergegeven.

Tabel 3 Ammonium-, nitriet- en nitraatconcentratie in het spuiwater.

Table 3 Ammonia, nitrite and nitrate concentration in waste water.

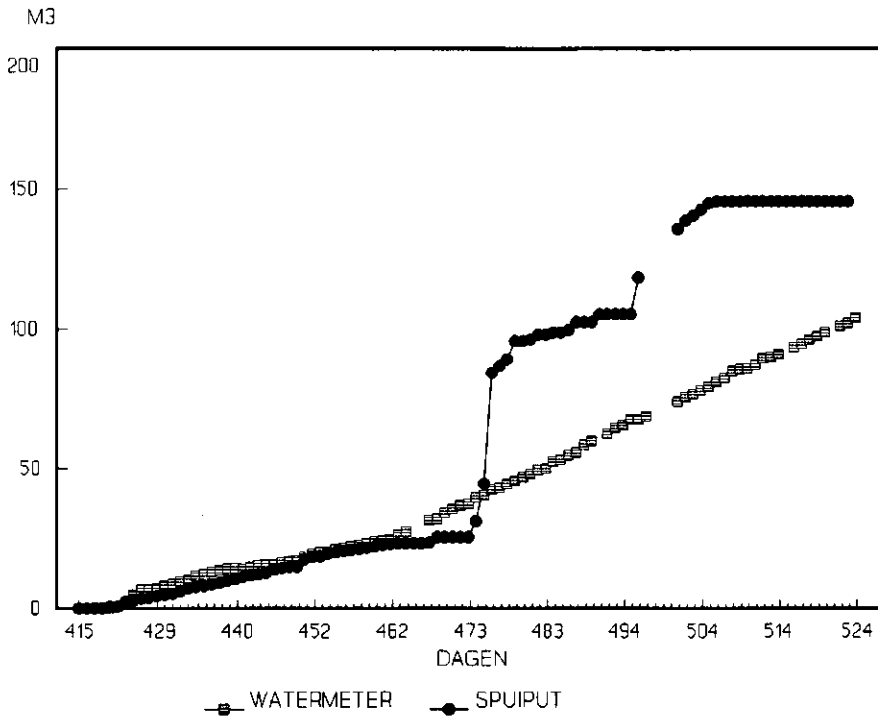
Dagnummer	NH ₄ -N (mg/l)	NO ₂ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)
420	1150	6	1120
434	865	91	695
449	560	64	371
462	450	38	250
483	563	49	415
504	407	13	235
694	1550	52	1080
707	1130	67	870
715	862	72	600
722	877	80	670
728	783	76	633

De gemiddelde concentraties aan stikstofzouten in het spuiwater bedroegen respectievelijk 795 mg NH₄-N/l, 55 mg NO₂-N/l en 631 mg NO₃-N/l.

3.1.4 Bevochtiging

In eerste instantie vond de bevochtiging alleen in de drukkamer van het biofilter plaats.

Uit figuur 6 blijkt dat via de sproeileiding in de drukkamer ca. 0,6 m³ water per dag (5 liter per uur) verbruikt werd. Nadat op dag 465 het aantal sproeiers verdubbeld werd, steeg het waterverbruik tot 1,2 m³ per dag (10 liter per uur). De geadviseerde hoeveelheid van 15 liter per uur (zie 3.1.1) werd niet gehaald.



Figuur 6 Cumulatief waterverbruik door onderbevochtiging (watermeter) in de drukkamer en de hoeveelheid spuiwater (spuiput) uit het biofilter.

Figure 6 Cumulative water intake moistening-installation in pressure cabin and the quantity of sluice water from the biofilter.

Het moment dat het biofilter van bovenaf met een waterslang werd natgemaakt (dag 473 en dag 500) was duidelijk waarneembaar door een toename van de spuihoeveelheid. De beide lijnen lopen in het eerste gedeelte bijna evenwijdig, wat inhoudt dat de hoeveelheid water die in de drukkamer verneveld werd vrijwel direct als spuiwater werd afgevoerd. Nadat de capaciteit van de sproeiers was verdubbeld, werd deze verhouding gunstiger en zal er dus meer vocht mee in het filtermateriaal achtergebleven zijn. Ondanks de uitbreiding van de onderbevochtiging droogde het filtermateriaal uit. Het was blijkaar niet mogelijk de lucht in de drukkamer volledig met vocht te verzadigen.

In juni 1992 werd de bovenbevochtiging aangebracht, maar deze werkte toen nog niet. Er moest in eerste instantie een pomp met een grotere capaciteit geplaatst worden. Daarna bleek dat de pomp voorzien moest worden van een terugslagklep om nalekken en hevelwerking door de pomp te voorkomen.

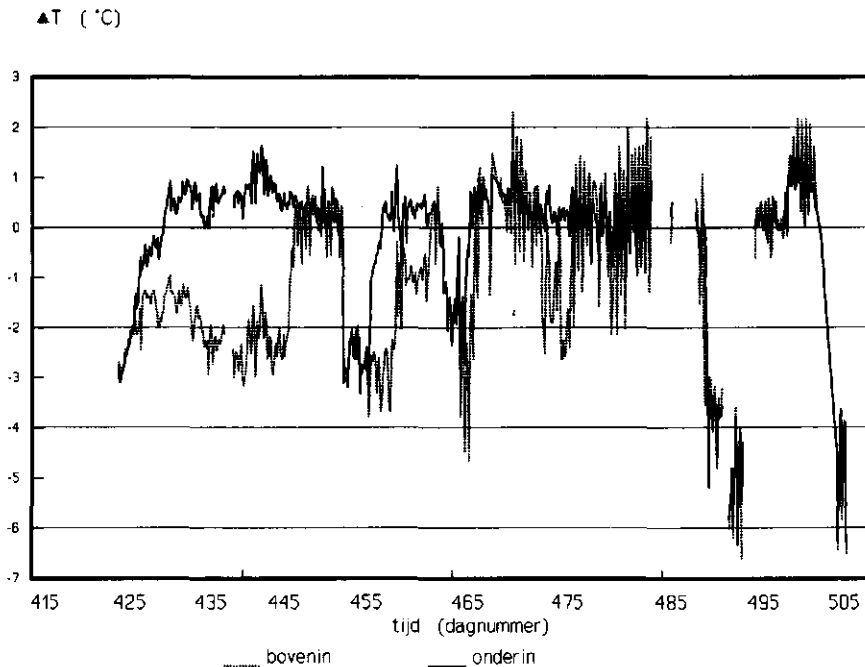
Nadat bovengenoemde gebreken verholpen waren werden ook de temperatuursensoren in de drukkamer en het filtermateriaal geplaatst en aangesloten op de bedrijfscomputer.

Op basis van temperatuurverschillen tussen de lucht in de drukkamer en de bovenste en onderste laag van het filtermateriaal kon de vochttoestand van het filtermateriaal gevolgd worden.

Er waren drie situaties mogelijk:

- 1) uitdrogen van het filtermateriaal: temperatuurverschil tussen drukkamer en biofilter wordt kleiner;
- 2) evenwicht: constant temperatuurverschil tussen drukkamer en biofilter;
- 3) natter worden van het filtermateriaal: toenemend temperatuurverschil tussen drukkamer en biofilter.

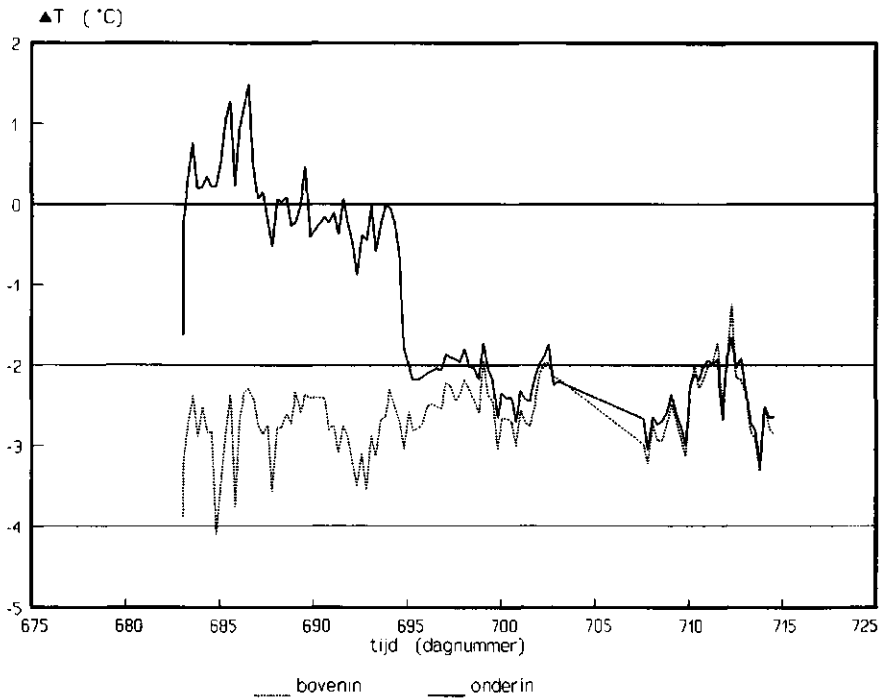
In figuur 7 en 8 zijn de resultaten van de temperatuurmetingen weergegeven.



Figuur 7 Het temperatuurverschil tussen drukkamer en respectievelijk bovenin en onderin het filtermateriaal in het midden van het biofilter in de periode februari tot juni 1992.

Figure 7 Difference in temperature between filter material (top and bottom) and pressure cabin from February till June 1992.

Duidelijk is dat het biofilter, ondanks de bevochtiging van de lucht in de drukkamer en de eventuele neerslag zelfs in de winter (dag 425 tot 485) uitgedroogde. Uit figuur 7 blijkt dat het temperatuurverschil tussen de drukkamer en het filtermateriaal afnam: op dag 425 was er nog een temperatuurverschil van 2 °C. Enkele dagen later was er geen temperatuurverschil tussen drukkamer en de onderste laag van het filtermateriaal en was dat deel van het filter dus uitgedroogd. Omstreeks dag 445 was ook de bovenste laag uitgedroogd. Aan het eind van deze meetperiode is het biofilter enkele malen handmatig bevochtigd (dag 483 en 503). Op deze tijdstippen nam het temperatuurverschil tussen de drukkamer en het filtermateriaal weer toe.



Figuur 8 Het temperatuurverschil tussen drukkamer en respectievelijk bovenin en onderin het filtermateriaal in het midden van het biofilter in de periode oktober tot november 1992.
Figure 8 Difference in temperature between filter material (top and bottom) and pressure cabin from October till November 1992.

In figuur 8 wordt het temperatuurverloop in het filter met ingeschakelde bovenbevochtiging weergegeven.

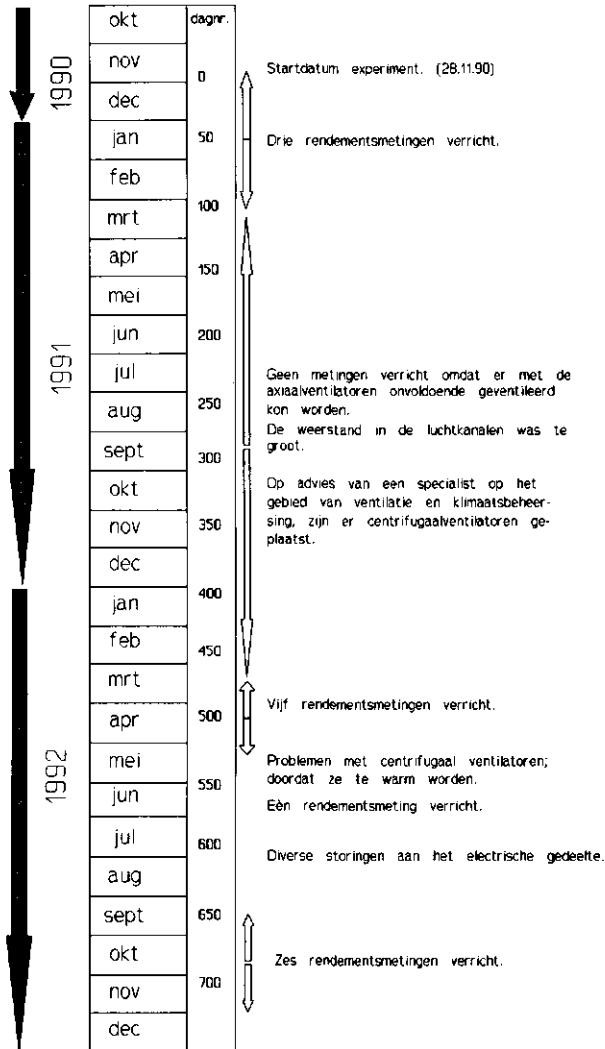
Vanaf het moment dat de bovenbevochtiging werd ingeschakeld (dag 690), kon het filter goed nat gehouden worden. Duidelijk is te zien dat daarna ook het onderste gedeelte van het filtermateriaal natter werd (toename temperatuurverschil).

De resultaten van de temperatuurmetingen in het biofilter en drukkamer geven aan dat sturing van de bovenbevochtiging in principe mogelijk is. De verschillen in temperatuur bij een uitgedroogd en een vochtig biofilter (figuur 7 en 8) zijn duidelijk waarneembaar. Op het moment dat er geen temperatuurverschil meer gemeten werd tussen het biofilter (bovenin en onderin) en de drukkamer was het materiaal uitgedroogd en werkte het filter niet of slecht (zie tabel 1; dag 462 en 504).

3.2 Locatie Moergestel

3.2.1 Technisch functioneren

In figuur 9 wordt een overzicht gegeven van het uitgevoerde onderzoek, de onderzonden problemen en de aangebrachte veranderingen.



Figuur 9 Tijdschema onderzoek, technische problemen en oplossingen locatie Moergestel.

Figure 9 Time path of the experiments, technical problems and solutions, biofilter at Moergestel.

Tijdens de meetperiode is door optredende technische storingen slechts gedurende enkele maanden begeleidend onderzoek uitgevoerd.

Door de axiaalventilatoren kon maximaal maar 6.000 m³/uur aan lucht verzet worden, terwijl voor deze afdelingen van 100 vleesvarkens een maximumdebiet van 8.000 tot 10.000 m³/uur gewenst was (Handboek voor de Varkenshouderij, 1993). Dit leverde, naar mate de buitentemperatuur opliep, al snel problemen met het staklimaat op. Daarom werd het grootste deel van 1991 de lucht niet door het biofilter gevoerd, maar direct na de ventilatoren naar buiten geblazen. December 1991 werden op één afdeling centrifugaalventilatoren uitgetest. Het bleek dat hiermee ruim 8.000 m³ lucht/uur kon worden verzet. Daarna werden alle afdelingen uitgerust met centrifugaalventilatoren. Tijdens de laatste periode (dag 650-700) zijn enkele drukvalmetingen uitgevoerd. Hierbij bleek dat de drukval over de centrifugaalventilatoren maximaal ca. 200 Pa bedroeg. Opmerkelijk was dat de onderdruk in de stal groter was dan de druk die opgebouwd werd na de ventilator (in de drukkamer van het biofilter). Door het openen van de inlaatkleppen naar de centrale gang en het openen van de afdelingsdeur daalde de onderdruk in de afdeling tot 80 Pa. De druk die opgebouwd werd na de ventilator was niet meer dan 50 Pa. Bij eerdere onderzoeken werd bij biofilters met een mengsel van turf/heide materiaal een drukval over het biofilter gevonden van ≤ 120 Pa (Eggels en Scholtens, 1989). Bij dit onderzochte biofilter werd over het biofilter een lagere drukval gemeten. Centrifugaalventilatoren hebben de eigenschap dat ze een hogere drukval kunnen overwinnen, zonder dat dit invloed heeft op de hoeveelheid lucht die verplaatst kan worden. Bij een hoge drukval neemt de belasting op het ventilatiesysteem toe, met als gevolg het frequent optreden van storingen aan het elektrische gedeelte (doorbranden van schakelaars en stoppen en een hoger stroomverbruik).

De stoffilters moesten minimaal wekelijks schoongemaakt worden (stofzuiger) om het ventilatiedebiet op peil te kunnen houden. Als de stoffilters vuil waren konden de ventilatoren niet meer het maximumdebiet leveren. Volgens de klimaatcomputer werd dan 100% ventilatie gevraagd, terwijl volgens de meetventilator de werkelijke ventilatie maximaal 90% van de volle capaciteit bedroeg.

3.2.2 Ammoniakverwijderingsrendement

De resultaten van de eerste rendementsmetingen waren goed (tabel 4). Het filter leek gezien de bereikte rendementen goed te werken.

Tabel 4 Rendement van de eerste drie metingen.

Table 4 Efficiency of the first series of measurements.

Dag	Rendement (%)
0	88
19	83
114	61

De tweede serie metingen (tabel 4) zijn uitgevoerd nadat er centrifugaalventilatoren waren geïnstalleerd.

Tabel 5 Rendement, drogestofpercentages filtermateriaal van de tweede serie metingen.**Table 5** Efficiency and dry-matter in the filter material of the second series of measurements.

Dag	Rendement (%)	Drogestofgehalte (%)	
		onderin	bovenin
462	62	37	79
483	61	45	37
504	64	–	–
525	0	85	86
574	0	84	85

Nadat omstreeks dag 460 het biofilter werd omgezet, werd het begeleidend onderzoek opnieuw gestart. De oorspronkelijk 70 cm dikke laag filtermateriaal van turf en heide was ingeklonken tot 40 cm.

Er zijn een vijftal metingen uitgevoerd, waaruit blijkt dat er aanvankelijk een ammoniakverwijderingsrendement van 60% werd bereikt. Toen het filtermateriaal zowel onderin als bovenin droger werd (ca. 80% ds; dag 525), werd de doorgevoerde lucht niet meer van ammoniak gezuiverd. De bevochtiging in de drukkamer door de ultrasoonvernevelaars en later door de schotelvernevelaars was onvoldoende om het filtermateriaal voldoende vochtig te houden. Dit probleem kan alleen opgelost worden door het filter van bovenaf te bevochtigen. Dit is op deze locatie niet onderzocht.

Na het inbrengen van een nieuwe laag heide werden omstreeks dag 650 werden nog een zestal rendementsmetingen uitgevoerd (tabel 6). Tijdens deze metingen, die in de herfst/winterperiode van 1992 werden uitgevoerd, bleef het filtermateriaal voldoende vochtig. Bij de meting op dag 665 was het rendement slecht, omdat het filtermateriaal niet homogeen over het filter verdeeld was. Na het opnieuw omzetten van het filtermateriaal werden er nog een aantal metingen uitgevoerd. Het rendement was op dat moment hoog (gemiddeld >95%). Door regenval kon het filtermateriaal voldoende vochtig blijven.

Tabel 6 Rendement en drogestofpercentages filtermateriaal van de derde serie metingen.**Table 6** Efficiency and dry-matter of the filter material of the third series of measurements.

Dag	Rendement (%)	Drogestofgehalte (%)	
		bovenin	onderin
665	34	58	50
680	92	54	50
693	97	37	38
714	95	32	27
722	98	31	28
28	95	27	54

3.2.3 Spuiwatersamenstelling

De samenstelling van het spuiwater uit het biofilter wordt in tabel 7 weergegeven.

Tabel 7 Ammonium-, nitriet- en nitraatconcentratie in het spuiwater.

Table 7 Ammonia, nitrite and nitrate concentration in waste water.

Dagnummer	NH ₄ -N (mg/l)	NO ₂ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)
462	780	56	840
483	49	9	23
504	39	9	18
525	44	6	13
574	80	5	30
665	74	12	38
680	109	6	36
693	123	10	37
722	512	28	379
728	264	37	173

De gemiddelde concentraties aan stikstofzouten in het spuiwater bedroegen respectievelijk 207 mg NH₄-N/l, 18 mg NO₂-N/l en 160 mg NO₃-N/l.

4 Conclusies en aanbevelingen

Gebleken is dat de ventilatie bij de aanleg van een biofilter veel aandacht vraagt. Voor de bouw van een biofilter moet de luchtstroming zorgvuldig bekeken worden. Bij de keuze van de ventilatoren moet rekening gehouden worden met de grote drukval tot 400 Pa die kan optreden. In veel gevallen zullen axiaalventilatoren de drukval niet kunnen overwinnen, zodat centrifugaalventilatoren gebruikt moeten worden.

Naast het ventilatiegedeelte vraagt voor een goed ammoniakverwijderingsrendement de bevochtiging van het filtermateriaal de nodige aandacht. Voor een goed werkend filter mag het drogestofgehalte van het filtermateriaal niet hoger zijn dan 50%. Met name gedurende de zomerperioden moet het biofilter van boven bevochtigd kunnen worden. Ontstopping van de lucht is van belang om dichtslibben van het filtermateriaal te voorkomen. Met betrekking tot het filtermateriaal geldt dat dit goed (homogeen) verdeeld, overal even "luchtig" en (gelijkmatig) vochtig moet zijn.

4.1 Locatie Oisterwijk

Gedurende de gehele onderzoeksperiode (2 jaar) is het biofilter door problemen met de ventilatie maar gedurende ca. 6 maanden in gebruik geweest. Op momenten dat het biobed technisch goed functioneerde werden ammoniakverwijderingsrendementen van 9 tot 99% (gemiddeld 72%) behaald.

Het biofilter heeft door technische problemen en ontwerpfouten gedurende lange perioden niet goed kunnen functioneren. Met name de ventilatiecapaciteit was onvoldoende om de drukval over het filter te kunnen overwinnen, zonder dat het stalklimaat nadelig werd beïnvloed.

Vooral gedurende de zomermaanden was er bij een hoge ventilatiebehoefte onvoldoende ventilatiecapaciteit. Er werd maximaal ca. 5.000 m³/uur per afdeling verzet, terwijl een debiet van ca. 7.000 tot 9.000 m³/uur noodzakelijk was voor een goed stalklimaat. Ook wanneer het filter gedeeltelijk werd opengelegd, kon er slechts maximaal maar 7.000 m³/uur verzet worden.

De stoffilters moesten minimaal één keer per week schoongemaakt worden om de ventilatiecapaciteit te kunnen handhaven.

De resultaten van de metingen geven aan dat het filtermateriaal voldoende en egaal vochtig (40 tot 50% ds) moet zijn om een goed rendement (>70%) te behalen. Tevens moet het materiaal homogeen verdeeld zijn; drogere plekken hadden een grote negatieve invloed op het rendement.

Het aanbrengen van een installatie om het filtermateriaal van bovenaf te bevochtigen was noodzakelijk, omdat de bevochtiging in de drukkamer onvoldoende effectief was.

Het was mogelijk met temperatuursensoren in de drukkamer en in het filtermateriaal de

uitdroging van het filtermateriaal in de tijd te volgen. Op basis van deze waarnemingen lijkt het mogelijk de bovenbevochtiging computermatig te besturen. Voorlopig kan met een handmatig instelbare tijd klok de sproeifrequentie van de bovenbevochtiging worden geregeld (puls-pauze-regeling). De sturing van de bovenbevochtiging op basis van de gemeten temperaturen met de klimaatcomputer kan verder ontwikkeld worden.

4.2 Locatie Moergestel

Gedurende de gehele onderzoekperiode (2 jaar) was dit biofilter door problemen met de ventilatie maar gedurende ca. 6 maanden in gebruik. Op momenten dat het biobed technisch goed functioneerde werden ammoniakverwijderingsrendementen variërend van 0 tot 98% (gemiddeld 66%) behaald.

De weerstand in het ventilatiesysteem (bochten en kanalen) was zo groot dat axiaalventilatoren niet voldoende lucht verzetten. De later geïnstalleerde centrifugaalventilatoren konden de benodigde 8.000 m³/uur wel verzetten, maar dit ging met veel storingen gepaard.

De resultaten van de gedane metingen geven aan dat het filtermateriaal voldoende vochtig moet zijn (drogestofpercentage tussen de 40 en 50%) om een goed rendement (>70%) te kunnen behalen.

De bevochtiging in de drukkamer werkte vooral in de zomerperiode bij dit biofilter onvoldoende. Het aanbrengen van bovenbevochtiging zou nodig zijn geweest om gedurende de zomer ook een goede werking te garanderen.

De stoffilters moesten minimaal wekelijks schoongemaakt worden om het ventilatiedebiet te handhaven.

Summary

To reduce the emission of ammonia from pig houses, air treatment is possible. In this report the experience of two years research into the ammonia reduction efficiency and the fitting-in into the farm management of two different types of biofilters is described.

In this survey two types of filter material were used, namely compost/treebark and heath/peat. The air to be treated was ventilated from 2 pig houses with approximately 600 finishing pigs.

During the first year it became clear that the ventilation capacity was insufficient. This was caused by the large pressure drop in the ventilation systems. After the ventilation had been improved, it was still difficult to maintain a good climate for the pigs. When a higher ventilation rate was needed (summer), the ventilation rate achieved was in some cases insufficient. Therefore, the biofilter could not be used in warm periods.

For a good ammonia reduction (>70%) it was important that the dry matter of the filter material was <50%.

It was necessary to install an installation to moisten the filter material from the top. Moistening the air in the pressure cabin only appeared to be not enough, as the filter material dried up very easily.

To keep up the ventilation capacity it was necessary to use dust filters. The dust filters had to be cleaned weekly, so they were not always used. Running the ventilation without the dust filters being in place was responsible for the accumulation of the dust in the filter, which caused a higher pressure drop.

At one of the biofilters it appeared possible to follow the drying up of the filter material by means of recording the temperature of air and filter. It should be possible to develop a top moistening installation based on the differences between the air passing through the filter and the filter material itself.

Literatuur

- Demmers, T.G.M., 1992. Beknopte handleiding biowassers. IMAG-DLO rapport 92-12, Wageningen, 14 pp.
- Demmers, T.G.M., 1992. Ammoniakverwijdering uit stallucht door middel van biowassers. Procestechologie (9), p. 37-41.
- Eggels, P.G. en R. Scholtens, 1989 - Biofiltratie van ammoniak bevattende stallucht bij de intensieve veehouderij (Fase 3). Gezamenlijke uitgave TNO en IMAG-DLO.
- Handboek voor de Varkenshouderij, 1993. Informatie en Kenniscentrum Veehouderij, Afdeling Varkenshouderij, zesde herziene druk, Rosmalen, 362 pp.
- Sande-Schellekens, A.L.P. van de, en Backus, G.B.C., 1993. Ervaringen met biobedden op vleesvarkensbedrijven in PROPRO. Rapport P1. 99, Proefstation voor de Varkenshouderij, Rosmalen, 40 pp.

Verschenen rapporten

- 93-1 Huis in 't Veld, J.W.H., Kroodsmā, W. en S. van Westreenen – Vermindering ammoniakemissie uit een ligboxenstal door spoelen van de roosters.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 16 pp., f 25,00
- 93-2 Elzing, A. en D. Swierstra. – Ammoniakemissiemetingen in een modelsysteem van een varkensstal; de invloed van vloerbevuilding en het vloertype.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 24 pp., f 25,00
- 93-3 Elzing, A. en W. Kroodsmā – De relatie tussen ammoniakemissie en stikstofconcentratie in de urine van melkvee.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 22 pp., f 25,00
- 93-5 Dieën, J.H. van – Functional load of the low back.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 150 pp., f 40,00
- 93-6 Boer, W.J. de – Box Jenkins tijdreeksanalyse, toegepast op de resultaten van ammoniakemissiemetingen in een rundveestal.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 32 pp., f 30,00
- 93-7 Hoeksma, P., Scholtens, R. en A.J. van den Berg – Een milieuvriendelijk bedrijfsstelsel voor de varkenshouderij.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 26 pp., f 30,00
- 93-8 Smits, M.C.J., Kroodsmā, W., Swierstra, D. en W.J. de Boer – Opzet van het onderzoek inzake beperking van de ammoniakemissie in de Milieu-onderzoekstal.
Wageningen, IMAG-DLO-rapport, 32 pp., f 35,00
- 93-9 Drost, H. en D. van der Drift – Vergelijkend arbeidshygiënisch onderzoek in twee huisvestingssystemen voor leghennen. Onderzoek naar omgevingscomponenten en ODTS-symptomen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 54 pp., f 40,00
- 93-10 Uenk, G.H., Demmers, T.G.M. en M.G. Hissink – Luchtsamenstelling onder de overkapping van mestsilos vóór en na het mixen van de mest.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 22 pp., f 25,00
- 93-11 Aarnink, A.J.A., Houwers, H.W.J., Ouwkerk, E.N.J. van en P.B. Hangelbroek – Vooronderzoek naar een milieu- en welzijnsvriendelijk huisvestingssysteem voor vleesvarkens. Mestscheiding, vloerkoeling en grote groepen dieren.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 41 pp., f 40,00
- 93-12 Kasper, G.J. – Literatuuronderzoek naar het droogproces van gemaaid gras en de invloed van technische factoren hierop.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 34 pp. f 30,00
- 93-13 Vollebregt, H.J.M. en T. de Jong – Experimenteel onderzoek aan indirecte verdampingskoeling.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 56 pp. f 35,00
- 93-14 Hendrix, A.T.M. – Taaktijden voor de groenteteelt onder glas.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 95 pp. f 40,00
- 93-15 Loeffen, H. – CO₂-produktiesnelheid als maat voor groei van de champignon *Agaricus bisporus*.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 75 pp. f 35,00

- 93-16 Swierstra, D. en M.J.M. van den Elzen. – Verhardingen voor containerteelt buiten: technische eisen en ontwerpvarianten.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 61 pp. f 35,00
- 93-17 Frénay, J. W., Waltje, H. en H. Zilverberg. – Duurzaamheid van beton in agrarische milieu.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 108 pp. f 50,00
- 93-18 Ketelaar-de Lauwere, C.C., Benders, E. en P.J.M. Huijsmans. – De reactie van koeien als de krachtvoerverstrekking in de stal afhankelijk wordt gesteld van die in de AMS-ruimte. De invloed van verschillende stalindelingen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 19 pp. f 35,00
- 93-19 Huijs, J.P.G. en P. Knies. – Toepassingsmogelijkheden voor warmtekrachtkoppeling als onderdeel van de uitrusting op glastuinbouwbedrijven.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 43 pp. f . . .
- 93-20 Jong, T., et al. – Ontwerp van klimaatbeheersingsapparatuur voor gesloten kassystemen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 24 pp. f 35,00
- 93-21 Dingemans, E.C.F.M., Buré, R.G. en G. van Putten. – De invloed van opfokomstandigheden op het sociale gedrag van zeugen in groepen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 81 pp. f 35,00
- 93-22 Smits, M.C.J., Ooster, A. van 't en E.N.J. van Ouwkerk. – Beperking van de warmtebelasting in een ligboxenstal voor melkvee. Een oriënterend onderzoek.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 36 pp. f 30,00
- 93-23 Hoeksma, P., Oosthoek, J., Verdoes, N. en J.A.M. Voermans. – Reductie van ammoniakemissie uit varkensstallen door mestspoelen met beluchte spoelwater.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 56 pp. f 40,00
- 93-24 Waaijenberg, D. en J.W. Frénay. – Kunststofkas met tuiconstructie: ontwerp, uitvoering en toetsing van een prototype.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 43 pp. f 40,00
- 93-25 Drost, H. en D.W. van der Drift. – Aerial contaminants in aviary and battery housing systems for laying hens.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 28 pp. f 30,00.
- 93-26 Os, E.A. van, Klomp, G. en N.J. van de Braak. – Onderzoek geïntegreerde wateropslag met biologische reiniging van recirculatie water en energie-opslag.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 34 pp. f 35,00
- 93-27 Uenk, G.H., Monteny, G.J., Demmers, T.G.M. en M.G. Hissink. – Vermindering ammoniakemissie door gebruik van biowassers.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 41 pp. f 40,00

De rapporten kunt u **schriftelijk** bestellen door overmaking van het genoemde bedrag op Postbanknummer 3514771 ten name van IMAG-DLO te Wageningen, onder vermelding van het rapportnummer.

Reports must be ordered by transferring the appropriate amount (in Dutch Guilders) to the IMAG-DLO account, no. 3514771, at the Postbank, Wageningen, quoting the relevant report number(s)