

De uitstoot van respirabelstof door de Nederlandse veehouderij

The emission of respirable dust from
Dutch husbandry

Ir. P.W.G. Groot Koerkamp
Ing. G.H. Uenk
Ir. H. Drost

imag-dlo



CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Groot Koerkamp, P.W.G.

De uitstoot van respirabelstof door de Nederlandse veehouderij = The emission of respirable dust from Dutch husbandry / P.W.G. Groot Koerkamp, G.H. Uenk en H. Drost. – Wageningen : IMAG-DLO. – III. (Rapport / Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Instituut voor Milieu- en Agritechniek; 96-06).

Met lit. opg. – Met samenvatting in het Engels.

ISBN 90-5406-147-2

NUGI 849

Trefw.: respirabelstof; emissie; veehouderij.

© 1996

IMAG-DLO

Postbus 43 – 6700 AA Wageningen

Telefoon 0317-476300

Telefax 0317-425670

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 het instituut.

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 institute.

Abstract

Groot Koerkamp, P.W.G., G.H. Uenk en H. Drost. The emission of respirable dust from Dutch husbandry. DLO Institute of Agricultural and Environmental Engineering, Wageningen, The Netherlands, June 1996. 36 pp.; 12 figs.; 7 tables; 19 refs.; English and Dutch summaries, NL.

Emissions of respirable dust were calculated for ten common types of livestock housing systems in the Netherlands. Concentrations of inhalable and respirable dust were measured and ventilation rates were estimated on basis of the carbon dioxide balance in four replicates of each housing type in a summer and a winter situation. Results were analyzed with the Iteratively Reweighed Residual Maximum Likelihood (IRREML) procedure, so that variances of different error strata were estimated. Concentrations of inhalable and respirable dust varied between 0.14 (dairy cows in a cubicle house) and 11.8 mg/m³ (broilers) and between 0.02 (dairy cows) and 1.25 mg/m³ (laying hens with litter) respectively. Mean yearly emissions varied between 0.14 mg/h per animal for laying hens in cages and 23.8 mg/h per animal for beef cattle, while emissions from houses for sows, weaners and fatteners were 6.4, 3.3 and 6.9 mg/h per animal respectively.

Keywords: respirable dust, emission, livestock houses, husbandry

Voorwoord

De concentratie van fijn stof in de buitenlucht staat momenteel sterk in de aandacht door de associaties die in epidemiologisch onderzoek gevonden zijn met gezondheidseffecten bij de mens. Voor stof zijn er vele bronnen te onderscheiden, die bovendien deeltjes van uiteenlopende aard emitteren. Het is nog onduidelijk welke deeltjes met name verantwoordelijk kunnen worden gesteld voor de gesignaleerde gezondheidsrisico's. De roetdeeltjes die vrijkomen bij allerlei verbrandingsprocessen en het zogenaamde secundaire aerosol (sulfaat- en nitraatdeeltjes, die in de lucht ontstaan uit NO_x en SO₂) worden in dat verband vaak genoemd.

Om de bijdrage van de diverse bronnen aan de huidige stofconcentraties in de buitenlucht te kunnen vaststellen, is een schatting gewenst van de omvang van de betrokken emissies. In de veehouderij zijn stallen bronnen voor de uitstoot van stof. De grootte van deze emissies is niet bekend, maar het gaat om potentieel omvangrijke hoeveelheden. In opdracht van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) heeft IMAG-DLO op basis van beschikbare gegevens uit een EU-project emissiefactoren voor fijn stof berekend voor verschillende typen veehouderijgebouwen in Nederland.

De Werkgroep Emissiefactoren heeft gefunctioneerd als begeleidingscommissie voor deze studie. Deze werkgroep is deskundig op het gebied van de Nederlandse veehouderij en heeft onder meer als taak om op basis van onderzoekgegevens voorstellen te doen voor zogenaamde ammoniakemissiefactoren van veehouderijgebouwen.

Ir. A.A. Jongebreur
directeur

Inhoud

Samenvatting	6
1 Inleiding	7
2 Materiaal en methode	8
2.1 Inleiding	8
2.2 Huisvestingssystemen	8
2.3 Stal- en buitenklimaat	9
2.4 Stofconcentraties	9
2.4.1 Totaalstof	10
2.4.2 Respirabelstof	10
2.4.3 Meetprocedures	10
2.4.4 Concentratieberekening	11
2.5 Ventilatie-debiet	11
2.6 Dataverwerking	11
2.7 Literatuuronderzoek	13
3 Resultaten	14
3.1 Klimaat en ventilatie	14
3.2 Stofconcentraties en -emissies	15
3.3 Literatuuronderzoek	16
4 Discussie en conclusies	18
4.1 Klimaat en ventilatie	18
4.2 Stofconcentraties	18
4.3 Stofemissies	19
Summary	21
Literatuur	22
Bijlagen	24

Samenvatting

Er is een beter inzicht gewenst in de bijdrage van de verschillende broncategorieën aan de concentratie van fijn stof (bij benadering de deeltjes met een diameter kleiner dan $10\ \mu\text{m}$) in de buitenlucht. Naast een groot aandeel van stofemissies in het buitenland (ca. 80%) dragen ook Nederlandse bronnen, waaronder agrarische activiteiten, bij aan de stofconcentratie in de buitenlucht. Het hier gerapporteerde onderzoek is bedoeld om voor de belangrijkste huisvestingsvormen in de Nederlandse veehouderij emissiefactoren voor fijn stof af te leiden. In het kader van een EU-project ('Reduction of aerial pollutant emissions in and from livestock houses') werden van 10 gangbare huisvestingsvormen voor rundvee, varkens en pluimvee vier representatieve commerciële stallen doorgemeten in een zomer- en in een winterperiode gedurende één dag. Concentraties totaalstof en respirabelstof en klimaatparameters werden gemeten, ventilatiedebieten werden geschat op basis van de CO_2 -balansmethode en emissies van respirabelstof werden berekend. Met behulp van een statistisch model en de Iteratively Reweighted Residual Maximum Likelihood procedure (IRREML) werden stofconcentraties en emissies van respirabelstof per huisvestingssysteem geschat. Naast deze metingen werd een literatuuronderzoek naar stofconcentraties in rundvee-, varkens- en pluimveestallen uitgevoerd.

De temperatuur in de verschillende huisvestingsystemen was overeenkomstig de verwachtingen, waarbij de minimale en maximale ventilatiedebieten enigszins lager waren dan de advieswaarden. De concentraties totaalstof in rundveestallen lagen beneden $0,5\ \text{mg}/\text{m}^3$, in varkensstallen tussen $1,1$ en $3,4\ \text{mg}/\text{m}^3$, in pluimveestallen met strooisel rond $10\ \text{mg}/\text{m}^3$ en in batterijstallen onder $1\ \text{mg}/\text{m}^3$. De relatieve concentraties respirabelstof lagen tussen 9 en 20% van de concentratie totaalstof. De gemeten concentraties vertoonden geen grote afwijkingen met de gevonden literatuurgegevens.

De emissies van respirabelstof per aanwezig dier waren het hoogst in de rundveesector ($5,3$ - $23,8\ \text{mg}/\text{uur}$), gevolgd door de varkenssector ($3,3$ - $6,9\ \text{mg}/\text{uur}$), en het laagst in de pluimveesector ($0,14$ - $2,3\ \text{mg}/\text{uur}$). De emissies vertoonden geen duidelijke variatie over het jaar. De metingen bij vleeskalveren, biggen, vleesvarkens en vleeskuikens werden verricht op $3/4$ van de productiecycli.

De variatiecoëfficiënt voor emissies van respirabelstof was het hoogst voor de huisvestingsystemen met de laagste stofconcentraties (36 - 67%, rundveesector). Bij deze lage concentraties overheerste de absolute fout ϵ (σ_0^2) ten opzichte van de relatieve fouten in het loglineaire deel van het statistische model. Voor de overige systemen bedroeg de variatiecoëfficiënt ca. 30%. De variantie van de absolute fout, $\epsilon_{ijk|lm}$, bestond uit twee delen, namelijk variatie als gevolg van een meetfout en variatie tussen de 7 meetpunten per stal, en bedroeg $0,027$ ($\sigma_0=0,16$).

Beperking van de stofemissie door verlaging van stofconcentraties in stallen lijkt mogelijk, maar praktisch toepasbare mogelijkheden hiervoor zijn er nog nauwelijks. Naast de emissie van fijn stof van veehouderijgebouwen en andere agrarische bronnen, zal in de toekomst meer naar de mogelijke schadelijke effecten van het stof op de gezondheid van de mens en het dier moeten worden gekeken (kwalitatieve eigenschappen).

1 Inleiding

De problematiek van fijn stof in de buitenlucht blijkt ernstiger te zijn dan in het recente verleden werd ingeschat. Fijn stof bestaat uit deeltjes met een diameter kleiner dan 10 µm, ook wel aangeduid als PM₁₀-deeltjes. Het probleem van fijn stof is complex. Bij blootstelling aan hoge concentraties fijn stof kunnen zowel chronische als acute effecten optreden. De effecten variëren van tijdelijke of blijvende vermindering van de longfunctie van personen tot toename van sterftcijfers onder de bevolking. Daarnaast is er sprake van een groot aantal verschillende broncategorieën in binnen- en buitenland dat bijdraagt aan de huidige stofconcentraties. De belangrijkste bronnen zijn verkeer, industrie, energie-opwekking en mogelijk agrarische activiteiten. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen direct geëmitteerd primair fijn stof en secundair fijn stof dat ontstaat door omzetting van gasvormige componenten zoals SO₂, NO_x en NH₃. Emissies in het buitenland dragen voor ca. 80% bij aan de huidige achtergrondconcentraties voor fijn stof. De achtergrondconcentraties benaderen of overschrijden het geen-effect-niveau; lokaal kunnen deze concentraties hoger zijn.

Gegevens over emissies van fijn stof in Nederland zijn reeds eerder geïnventariseerd (Annema *et al.*, 1994). Echter, deze gegevens zijn niet compleet, terwijl schattingen van fijn stof door uiteenlopende agrarische activiteiten nog ontbreken. Het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM, Directoraat-Generaal Milieubeheer, directie Lucht en Energie) is derhalve bezig met een inventarisatie van de emissies van fijn stof door verkeer, industrie, energie opwekking en (intensieve) veehouderijgebouwen in Nederland.

Doel van dit onderzoek was een inventarisatie van de emissies van fijn stof met deeltjesgrootte kleiner dan 10 µm uit stallen in de veehouderij in Nederland. Daarbij bestond interesse voor de aard van het stof en de variatie van de stofemissies gedurende de seizoenen. Voor dit onderzoek zijn gegevens gebruikt die sinds 1992 zijn verzameld over het klimaat en concentraties van milieubelastende gassen en stoffen in commerciële veehouderijgebouwen in Nederland en de uitstoot daarvan naar het milieu.

2 Materiaal en methode

2.1 Inleiding

De emissie van stof uit veehouderijgebouwen is het produkt van de stofconcentratie in de stal en het ventilatiedebiet. In het kader van een EU-project (contract no. 8001-ct91-0121, 'Reduction of aerial pollutant emissions in and from livestock houses') zijn o.a. stofconcentratie- en debietsmetingen verricht aan verschillende typen praktijkstallen in de periode september 1993 tot november 1995 (Phillips et al., 1996). In dit hoofdstuk zijn deze huisvestingsvormen voor de verschillende diertypen en de meet- en berekeningsmethoden voor stal- en buitenklimaat, stofconcentraties en ventilatiedebiet beschreven. Daarnaast is literatuuronderzoek uitgevoerd om de gemeten concentraties te kunnen aanvullen en/of te vergelijken met gegevens uit ander onderzoek.

2.2 Huisvestingssystemen

Tabel 1 *Overzicht van diersoorten en huisvestingsvormen waarvoor de emissie van respirabelstof is bepaald en de herkomst van de data.*

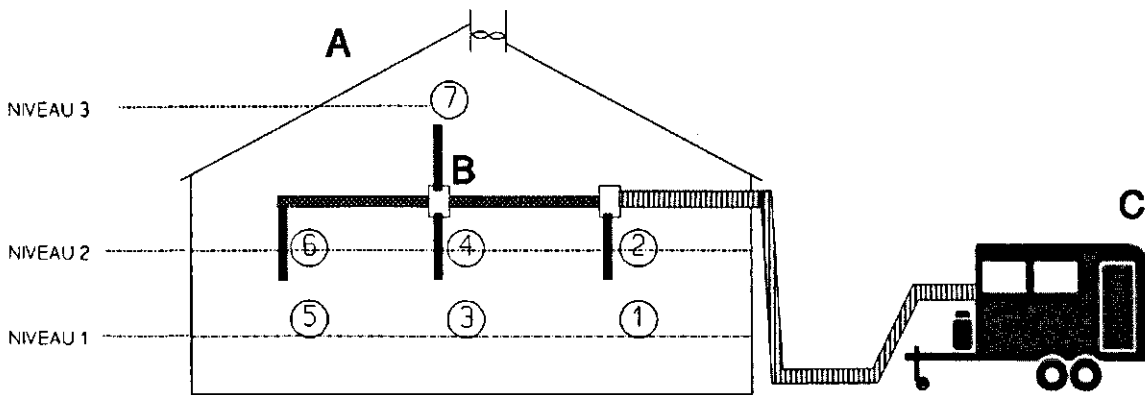
Table 1 *Overview of animal and housing types for which the emission of respirable dust was determined and the origin of the data.*

Diersoort	Huisvestingsvorm	Herkomst data
Melkkoeien	grupstal	EU-project
Melkkoeien	ligboxenstal	EU-project
Vleesstieren	roostervloer	EU-project
Vleeskalveren	groepshuisvesting	EU-project
Guste/dragende zeugen	boxen	EU-project
Biggen	deel-roostervloer	EU-project
Vleesvarkens	deel-roostervloer	EU-project
Leghennen	scharrelstal	EU-project
Leghennen	mestbandbatterij droge mest	EU-project
Vleeskuikens	strooisel	EU-project
Vleeskalveren	boxen	literatuur
Vleesvarkens	volledig roostervloer	literatuur
Biggen	volledig roostervloer	literatuur
Kraamzeugen	volledig/deel-roostervloer	literatuur
Leghennen	mestbandbatterij natte mest	literatuur

Tabel 1 geeft een overzicht van de diertypen en huisvestingsvormen waarvoor de emissie van stof werd bepaald. De huisvestingssystemen boven de stippellijn werden doorgemeten in het kader van het EU-project. In bijlage A zijn de staltypen schematisch weergegeven en gedetailleerd beschreven. Van iedere huisvestingsvorm waren vier praktijkstallen in het onderzoek betrokken, waar één keer in een winterperiode (november-april) en één keer in een zomerperiode (mei-oktober) werd gemeten. Bij alle metingen aan grupstallen voor melkkoeien waren de koeien zowel 's nachts als overdag in de stal aanwezig. Bij de zomermetingen aan

ligboxenstallen waren de koeien overdag niet aanwezig in de stal. Elke meting duurde ca. twee dagen, waarvan een aansluitende nacht- en dagperiode (resp. 06.00 tot 18.00 uur en 18.00 tot 06.00 uur) voor het onderhavige onderzoek werd gebruikt. De huisvestingssystemen onder de stippellijn in tabel 1 waren niet in het EU-project betrokken. De stofemissie uit deze huisvestingssystemen werd geschat op basis van beschikbare kennis en literatuurgegevens.

2.3 Stal- en buitenklimaat



Figuur 1 Schematische weergave van de meetpunten in een stal. A: Stal, B: slangenset, C: meetcabine, ① ... ⑦ : meetpunt 1 t/m 7.

Figure 1 Cross section of the sampling points in an animal house. A: Animal house, B: hose with tubes and wires, C: mobile unit with measuring devices, ① ... ⑦ : sampling points 1 to 7.

De temperatuur en luchtvochtigheid van de buitenlucht en in de stal werden geregistreerd met behulp van gecombineerde sensoren (Rotronic). De plaatsen van de meetpunten in de stal zijn weergegeven in figuur 1.

2.4 Stofconcentraties

De concentratiemetingen voor de fracties totaal- en respirabelstof werden volgens een vast protocol uitgevoerd (Takai *et al.*, 1993). De fractie totaalstof had betrekking op stofdeeltjes kleiner dan 50 μm . De fractie respirabelstof had betrekking op stofdeeltjes kleiner dan 7 μm . De concentratie van het in de stallucht aanwezige stof werd gemeten door een bepaalde hoeveelheid lucht door een filter aan te zuigen en de stofmassa die op het filter achterbleef te wegen. De stofconcentraties (mg/m^3) werden berekend door de stofmassa te delen door het aangezogen luchtvolume. Bij iedere stalmeting werden stofconcentraties op zeven plaatsen in de stal gemeten. Deze zeven meetpunten waren in een dwarsdoorsnede van een stal of afdeling over drie niveaus verdeeld (zie figuur 1): drie meetpunten op dierniveau (niveau 1), drie op mensniveau (niveau 2) en één bij een uitlaat (niveau 3). Ook indien de uitlaat zich niet in de nok bevond zoals in figuur 1, maar b.v. in een zijmuur, werd meetpunt 7 bij de uitlaat opgehangen. Bij de vaststelling van meethoogten voor de verschillende diercategorieën is gekozen voor veilige, voor de dieren (nagenoeg) onbereikbare, plaatsen (bijlage B).

2.4.1 Totaalstof

De fractie totaalstof in de stallucht werd gemeten met de 'IOM Dust sampler', die werd ontwikkeld door het Institute of Occupational Medicine (Mark and Vincent, 1986). De IOM unit bestond uit een houder met een stofcassette, waarin een glasvezel filter (Whatmann) met een doorsnede van 24 mm werd geplaatst. Door middel van een kritische opening werd een constant luchtdebiet (2,0 l/min) door het filter aangezogen. Het filter werd samen met de cassette gewogen. Het luchtdebiet werd voor en na de meting gecontroleerd.

2.4.2 Respirabelstof

De fractie respirabelstof in de stallucht werd gemeten met de 'SKC cyclone dust sampler'. Deze SKC-unit bestond uit een houder met cycloon met een stofcassette, waarin een glasvezel filter (Whatmann) met een doorsnede van 24 mm werd geplaatst. Door de cycloon werden stofdeeltjes kleiner dan 7,07 μm afgescheiden. Deze afscheidingsdiameter was niet scherp, maar had een bandbreedte. De 50%-afscheidingsdiameter is een karakteristieke maat voor zo'n bandbreedte. Deze bedroeg voor de gebruikte SKC-filters 5 μm (bijlage C). Deze deeltjes worden aangeduid als $\text{PM}_{2.5}$. Door middel van een kritische opening werd een constant luchtdebiet (1,9 l/min) door het filter aangezogen. Het filter werd samen met het ondersteunende rooster gewogen. Het luchtdebiet werd voor en na de meting gecontroleerd.

2.4.3 Meetprocedures

De filters werden gewogen in een geklimatiseerde ruimte, waarin de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid constant werden gehouden op respectievelijk 20 °C en 50%. Binnen een afwijking van $\pm 10\%$ was het toegestaan de filters te wegen. De omstandigheden in de weegkamer werden gecontroleerd door weging van een viertal filters die permanent in de weegkamer aanwezig waren. De filters werden minimaal 12 uur voor een weging in de weegkamer gebracht om zich aan de omstandigheden in deze ruimte aan te passen. De filters werden gewogen op een analytische balans (Mettler AT261) die op 0,01 mg was af te lezen. De reproduceerbaarheid, of standaarddeviatie van deze balans bij herhaald meten, bedroeg 0,015 mg.

Bij elke stalmeting werden in totaal 34 filters gebruikt (zie tabel 2). Hiervan werden er 28 gebruikt om de concentratie van het stof in de stal te meten en zes filters werden gebruikt als blanco's om voor gewichtsverandering van de filters plus cassettes tijdens opslag of transport te kunnen corrigeren.

Tabel 2 Overzicht van het aantal gebruikte filters per stalmeting.
Table 2 Overview of the number of filters used per measurement of an animal house.

	dagperiode	nachtperiode	blanco
Totaalstof	7	7	3
Respirabelstof	7	7	3

2.4.4 Concentratieberekening

De concentratie van het stof werd als volgt berekend:

$$C = \frac{W_{dust}}{T * Q} * 1000 \quad (1)$$

Waarin:

- C = stofconcentratie (mg/m³)
- W_{dust} = stofmassa op filter (mg)
- T = monsternamperiode (minuten)
- Q = luchtdebiet dat aangezogen wordt (liter/min)

De standaardafwijking van een enkele gewichtsbepaling volgens fabrieksopgave bedroeg 0,015 mg in het gebruikte meetbereik van de weegapparatuur. De detectiegrens voor de minimaal te meten hoeveelheid stof werd gesteld op twee maal de standaardafwijking van de random fout in de berekende hoeveelheid opgevangen stof. Rekening houdend met een voor- en naweging en de correctie van de blanco-filters, bedroeg de detectiegrens voor beide stofconcentraties 0,034 mg/m³.

2.5 Ventilatie-debiet

De ventilatie-debieten werden berekend met behulp van de CO₂-balansmethode. De CO₂-productie van de dieren werd berekend met behulp van het programma STALKL (Van Ouwkerk en Pedersen, 1994). In dit programma werden de volgende gegevens ingevoerd: gemeten CO₂-concentratie en temperatuur in de stal en van de buitenlucht, aantal dieren, diergewichten, produktiestadium en voeropname, voergegevens en indien noodzakelijk produktiegegevens.

Het programma STALKL hield geen rekening met variatie in de warmte- en CO₂-productie van de dieren binnen een dag. Uit validaties van het model voor melkkoeien en vleesvarkens is gebleken dat de debietsvoorspellingen van het model maximaal ca. 15% afwijken van de meetmethode met meetventilatoren (Van Ouwkerk en Pedersen, 1994).

2.6 Dataverwerking

Voor de dataverwerking is het volgende model gebruikt:

$$\mu = \frac{\theta}{\Phi} \quad (2)$$

met:

- μ de verwachtingswaarde van de stofconcentratie (mg/m³)
- θ de verwachtingswaarde van de stofemissie (mg/uur per dier)
- Φ het ventilatie-debiet (m³/uur per dier)

Voor de meetfout in de stofconcentratie, y , is een normale verdeling verondersteld (waardoor ook negatieve waarnemingen kunnen worden gebruikt in deze analyse):

$$y = \mu + \epsilon \quad (3)$$

met:

- ϵ een normaal verdeelde meetfout met constante variantie σ_{ϵ}^2 .

Voor de verwachte stofemissie per dier is een loglineair model verondersteld:

$$\ln(\theta) = \eta = X\beta + Z\gamma \quad (4)$$

met:

- β een vector van vaste effecten behorend bij design matrix X
- γ een vector van random effecten behorend bij design matrix Z

Er is gekozen voor een logaritmische linkfunctie, omdat de effecten van staltype, stal, seizoen, dagdeel en temperatuur multiplicatief werden verondersteld, terwijl de variabiliteit (uitgedrukt als standaardafwijking) ongeveer evenredig met het niveau zal zijn. Het model geeft schattingen voor de vaste effecten, te weten de gemiddelde waarden van stofconcentratie en stofemissie per staltype en eventuele effecten van de buitentemperatuur (T_o) hierop. Daarentegen wordt de spreiding tussen stallen van hetzelfde staltype, tussen seizoenen na correctie voor buitentemperatuur en tussen dagdelen (dag-nacht) als random variatie opgevat. Hiervan zijn alleen de variantiecomponenten interessant, niet de gemiddelden per eenheid (stal, seizoen en dagdeel).

Voor de analyse is gebruik gemaakt van Iteratively Reweighted Residual Maximum Likelihood (IRREML), zoals beschikbaar in de Genstat-procedure IRREML (Keen, 1994). Met deze techniek kan een variantiecomponentenmodel (REML) worden uitgebreid naar de situatie waar effecten niet additief, maar veeleer multiplicatief worden verondersteld, en waar de foutverdeling niet gelijk is voor alle variantiecomponenten.

Het model kan worden geschreven als

$$y_{ijklm} = \left(\frac{1}{\phi}\right) \cdot \exp(staltype_i + \beta \cdot T_{o,ijk} + stal_{ij} + seizoen_{ijk} + dagdeel_{ijkl}) + \epsilon_{ijklm} \quad (5)$$

met:

- y_{ijklm} de gemeten stofconcentratie in staltype i (i=1...10), stal j (j=1...4), gedurende seizoen k (k=zomer, winter), dagdeel l (dag, nacht) op plek m (m=1...7).

De waarnemingen van het ventilatiedebiet worden in het model opgenomen via een zogenaamde offset variabele:

$$o = -\ln(\phi) \quad (6)$$

Het model levert dus zowel schattingen voor de gemiddelde stofconcentratie:

$$\mu = e^{(\eta + o)} \quad (7)$$

als voor de gemiddelde stofemissie per dier:

$$\theta = e^{(\eta)} \quad (8)$$

Aangezien de afstand tussen meetpunt 7 en de onderkant van een uitlaatkoker doorgaans ca. 1 meter bedroeg, kon enerzijds redelijk worden voldaan aan de e's van isokinetisch meten, terwijl anderzijds de concentratie van de uitgaande lucht zo zuiver mogelijk werd vastgesteld. Voor de emissieberekeningen zouden concentratie(s) en ventilatiedebiet(en) bij de uitlaatopening(en) moeten worden gebruikt. Echter, omdat de concentraties bij meetpunt 7 (uitlaat) niet structureel afweken van de overige 6 meetpunten, werd er voor gekozen om in bovenstaand model de gemeten concentraties op alle 7 meetpunten te gebruiken. Dit was overigens te preferen voor natuurlijke geventileerde stallen met meerdere uitlaatopeningen (melkkoeien in ligboxenstallen en vleesstieren in roosterstallen).

Bij melkkoeien, vleesstieren en guse/dragende zeugen was sprake van een continu systeem, dat wil zeggen dat de leeftijd en het gewicht van alle aanwezige dieren min of meer constant was gedurende het jaar. Bij vleeskalveren, biggen, vleesvarkens, leghennen en vleeskuikens was sprake van een all-in/all-out systeem, waarbij het gemiddelde gewicht (behalve bij leghennen) en de gemiddelde leeftijd toenam tijdens de productiecyclus. Bij de all-in/all-out systemen was de emissie van respirabelstof tijdens een productiecyclus waarschijnlijk niet constant. De metingen vonden plaats op ca. 3/4 van de productiecyclus. Vanwege het min of meer constante lichaamsgewicht vonden bij leghennen de metingen plaats tussen 30 en 65 weken leeftijd. Op basis van de metingen en beschikbare literatuur werd nagegaan hoe de concentraties van respirabelstof in deze huisvestingsvormen zich ontwikkelden tijdens de betreffende productiecycli.

2.7 Literatuuronderzoek

Door middel van onderzoek in nationale en internationale literatuur is getracht antwoorden te vinden op de volgende vragen:

- 1) Hoe verhouden de gevonden concentraties en emissies uit het voorgaande praktijkonderzoek zich tot andere metingen?
- 2) Kan op basis van ander onderzoek een schatting worden gemaakt voor concentraties en emissies voor de huisvestingsvormen die niet in het onderzoek waren betrokken?
- 3) Kan, en zo ja hoe, een vertaalslag worden gemaakt van de gemeten concentraties respirabelstof naar PM_{10} -deeltjes?

Deze aspecten worden in paragraaf 3.3 en in hoofdstuk 4 nader uitgewerkt.

3 Resultaten

3.1 Klimaat en ventilatie

Tabel 3 Het minimum, gemiddelde en maximum van de buitentemperatuur, de staltemperatuur en het ventilatiedebiet van de daggemiddelde waarden van vier stalmetingen in de zomer en vier stalmetingen in de winter per diersoort en huisvestingsvorm.

Table 3 *The minimum, mean and maximum value of the outside and inside temperature and of the ventilation rate of the daily means of four measurements in the summer and four measurements in the winter per animal and housing type.*

Diersoort en huisvestingsvorm	Buitentemperatuur (°C)			Staltemperatuur (°C)			Ventilatiedebiet (m ³ /uur per dier)		
	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.
Melkkoeien-grupstal	-0,5	5,5	11,4	9,0	14,6 ¹	19,0	168	227	305
Melkkoeien-ligboxenstal	3,3	9,0	16,9	5,7	12,2 ²	20,4	331	838	1500
Vleesstieren-roostervloer	-4,5	10,4	23,2	2,2	13,6 ³	25,3	150	355	614
Vleeskalveren-groepshuisvesting	2,3	12,0	23,5	14,5	19,1 ⁴	26,3	82	103	135
Guste/dragende zeugen-boxen	5,8	10,8	14,5	19,0	20,2 ⁵	21,8	30	58	100
Biggen-deelroostervloer	7,2	12,8	16,0	22,0	24,5 ⁵	27,0	3,8	13	24
Vleesvarkens-deelroostervloer	-3,1	7,9	23,5	18,7	22,0 ⁵	26,8	12	31	67
Leghennen-scharrelstal	3,0	10,4	18,3	16,3	20,1 ⁵	23,4	1,0	2,3	4,1
Leghennen-mestbandbatterij	8,3	11,7	16,7	20,1	22,0 ⁵	23,0	1,2	2,3	4,1
Vleeskuikens-strooisel	-4,3	6,9	13,8	20,1	22,4 ⁵	25,0	0,9	1,4	2,6

¹ Mechanische ventilatie, gemiddelde Δ temperatuur stal t.o.v. buiten bedroeg 9,1 °C

² Natuurlijke ventilatie, gemiddelde Δ temperatuur stal t.o.v. buiten bedroeg 3,2 °C

³ Natuurlijke ventilatie, gemiddelde Δ temperatuur stal t.o.v. buiten bedroeg 3,3 °C

⁴ Mechanische ventilatie met beperkte temperatuurregeling, gemiddelde Δ temperatuur stal-buiten bedroeg 7,1 °C

⁵ Mechanische ventilatie met temperatuurregeling op vaste of dalende set-point tijdens de productiecycclus

De buitentemperatuur heeft zowel extreem hoge (23,5 °C) als extreem lage (-4,5 °C) waarden bereikt tijdens het onderzoek. De range waarin de buitentemperatuur varieerde was voor de verschillende diersoorten en huisvestingsvormen niet gelijk. De invloed van het buitenklimaat op de temperatuur in de stal werd verminderd of geminimaliseerd door middel van regeling van het ventilatiedebiet. De kwaliteit van deze regeling was afhankelijk van het soort ventilatiesysteem (mechanisch of natuurlijk) en (de aanwezigheid van) een temperatuurregelaar plus instellingen.

De lage minimum staltemperaturen in ligboxenstallen voor melkkoeien en stallen voor vleesstieren werden veroorzaakt door het natuurlijke ventilatiesysteem en het ontbreken van een temperatuurregeling. De minimum staltemperaturen in grupstallen voor melkkoeien en stallen voor vleeskalveren lagen iets hoger. Deze stallen hadden mechanische ventilatie met respectievelijk handmatige en automatische regeling van het ventilatiedebiet. De temperaturen in varkensstallen werden automatisch geregeld en lagen tussen 19,0 en 27,0 °C. De minimum temperaturen in scharrelstallen voor leghennen lagen lager dan die in batterijstallen. Scharrelstallen hebben een veel lagere bezettingsgraad en zijn in het algemeen natuurlijk geventileerd waarbij klimaatregeling werd toegepast met handmatige bediening. De maximale temperaturen in de stallen voor leghennen bedroegen ca. 23 °C. De temperaturen in de stallen voor vleeskuikens in de vierde week van de mestronde lagen tussen ca. 20 en 25 °C.

De ventilatiedebieten werden vergeleken met de richtlijnen voor minimale en maximale waarden uit de handboeken voor de rundvee-, varkens- en pluimveehouderij. Doorgaans waren de gevonden maxima die optraden bij extreem hoge buitentemperaturen in de onderhavige praktijkstallen enigszins lager dan de aanbevolen waarden voor nieuw te bouwen stallen. Ook

de minimum ventilatiedebieten die optraden bij extreem lage buitentemperaturen waren soms lager dan de aanbevolen waarden.

3.2 Stofconcentraties en -emissies

Tabel 4 De geschatte concentratie totaalstof en respirabelstof (gemiddelde en variatiecoëfficiënt vc) per diertype en huisvestingsvorm. Voor respirabelstof is tevens het relatieve aandeel in de totaalstofconcentratie (%) weergegeven en de emissie.

Table 4 *The estimated concentration of inhalable and respirable dust (mean in mg/m^3 and coefficient of variation in %) per animal and housing type. The relative part of respirable dust to inhalable dust (%) and the emission of respirable (mg/h per animal) dust are also given.*

Diersoort en huisvestingsvorm	Totaalstof		Respirabelstof			
	Concentratie		Concentratie		Emissie	
	(mg/m^3)	vc (%)	(mg/m^3)	vc (%)	(%)	(mg/uur per dier)
Melkkoeien-grupstal	0,34	31	0,05	43	15	11,0
Melkkoeien-ligboxenstal	0,14	49	0,02	67	14	15,6
Vleesstieren-roostervloer	0,37	27	0,07	36	19	23,8
Vleeskalveren-groepshuisvesting	0,25	34	0,05	42	20	5,3
Guste/dragende zeugen-boxen	1,1	19	0,12	32	11	6,4
Biggen-deelroostervloer	3,4	19	0,30	30	9	3,3
Vleesvarkens-deelroostervloer	2,8	18	0,25	30	9	6,9
Leghennen-scharrelstal	8,4	19	1,25	30	15	2,3
Leghennen-mestbandbatterij	0,68	21	0,07	37	10	0,14
Vleeskuikens-strooisel	11,8	20	1,14	29	10	1,6

Tabel 4 geeft een overzicht van de concentraties van totaal- en respirabelstof en de emissie van respirabelstof. De concentraties totaalstof in de vier typen rundveestallen lagen allen onder $0,5 mg/m^3$. Dit is laag ten opzichte van de concentraties in varkens- en pluimveestallen. De concentratie totaalstof in stallen voor guste en dragende zeugen, $1,1 mg/m^3$, is laag ten opzichte van de concentratie in stallen voor biggen ($3,4 mg/m^3$) en vleesvarkens ($2,8 mg/m^3$). De gemiddelde concentratie totaalstof in de twee pluimveestallen met strooisel, leghennen-scharrel en vleeskuikens-strooisel, bedroeg globaal $10 mg/m^3$. De concentratie totaalstof in leghennenstallen met mestbandbatterijen, $0,7 mg/m^3$, lag hier ver onder. De concentratie respirabelstof varieerde met de concentratie totaalstof. Het relatieve massa-aandeel van het respirabelstof van het totaalstof was redelijk constant en lag tussen 9 en 20%.

De emissies van respirabelstof per dier waren het hoogst in de rundveestallen (5,3 - 23,8 g/uur), gevolgd door de varkensstallen (3,3 - 6,9 mg/uur), en het laagst in de pluimveestallen (0,14 - 2,3 mg/uur). Binnen de diercategoriën rundvee, varkens en pluimvee waren duidelijke verschillen waarneembaar tussen diersoorten en huisvestingsvormen. De variatiecoëfficiënt voor emissies van respirabelstof is gelijk aan die voor de concentraties respirabelstof. De variatiecoëfficiënt was het hoogst voor de huisvestingssytemen met de laagste concentraties (36 - 67%). Dit betrof voornamelijk de vier systemen uit de rundveesector. Bij deze lage concentraties overheerste de absolute fout, $\epsilon_{ijkim} (\sigma_0^2)$, ten opzichte van de relatieve fouten in het loglineaire deel. Voor de overige systemen bedroeg de variatiecoëfficiënt ca. 30%. De variantie van de absolute fout ϵ_{ijkim} bestond uit twee delen, namelijk variatie als gevolg van een meetfout en variatie tussen de 7 meetpunten, en bedroeg $0,027 (\sigma_0=0,16)$.

De emissie van respirabelstof is weergegeven in mg/uur per aanwezig dier. In dit gemiddelde per diersoort en huisvestingsvorm is de variatie binnen een dag, binnen een jaar (na opname

van de buitentemperatuur in het model) en tussen stallen van hetzelfde type begrepen. De metingen bij vleeskalveren, biggen, vleesvarkens en vleeskuikens zijn verricht op ca. 3/4 van de produktiecyclus. De dieren bevonden zich toen in respectievelijk week 18-24, 4-5, 8-13 en 4-5 van de produktiecyclus (gewichten respectievelijk 150-200, 15-20, 70-100 en 1,3-1,4 kg).

Over het effect van de buitentemperatuur op de stalemissie kon het volgende worden gesteld. De emissies zijn de gemiddelde waarde per diersoort en huisvestingsvorm voor de gemiddelde buitentemperatuur. De buitentemperatuur had een enigszins positief effect op de emissie (en de concentratie) van respirabelstof uit de huisvestingssystemen in tabel 4, namelijk ca. 1% per °C. Dit effect was echter niet significant. Hierbij moet worden opgemerkt dat de klimaatregeling van de stallen als een endogeen (autonoom) proces werd beschouwd. De stofconcentraties in de stallen zullen doorgaans afnemen met stijgende buitentemperaturen als gevolg van de hogere ventilatiedebieten. Het gegeven effect van de buitentemperatuur moet derhalve worden beschouwd als het effect bij een gelijk ventilatiedebiet.

3.3 Literatuuronderzoek

Tabel 5 geeft een overzicht van de gegevens uit het literatuuronderzoek.

Tabel 5 De concentratie van totaalstof en respirabelstof per diersoort en huisvestingsvorm.
Table 5 The concentration of inhalable and respirable dust per animal and housing type.

Diersoort en huisvestingsvorm	Omstandigheden	Concentratie totaalstof (mg/m ³)			Concentratie respirabelstof	
		min.	gem.	max.	(mg/m ³)	(%)
Varkensstallen ¹	NL, zomer	0,5	2,7*	11,2	-	-
	NL, winter	0,3	3,3*	26,6	-	-
Varkensstallen ²	NL, zomer	0,8	5,4*	39,1	-	-
	NL, winter	0,8	6,4*	59,3	-	-
Vleesvarkens-roostervloer ³	NL	0,69	1,32	2,29	0,37*	28
Kraamstal ⁴	NL	1,29	4,90	23,48	1,53	31
Vleesvarkens ⁴	NL	0,47	2,82	9,55	0,94	33
Leghennen-scharrestal ⁵	Zweden, zomer+winter	-	2,6	-	0,08	3
Leghennen-volièrestal ⁶	NL, zomer+winter, 4 types	2,5	11,47	30,5	5,22*	46
Leghennen-batterij ⁷	Zweden, winter, praktijk	1,13	2,57	3,68	-	-
Leghennen-batterij ⁸	Zweden, bandontmesting / schuiven / deep-pit	1,3	1,47	1,6	0,21	15
Leghennen-mestbandbatterij ⁹	NL, zomer+winter	0,7	1,93	4,8	0,48*	25
Leghennen-opfokbatterij ⁵	Zweden, zomer+winter	-	2,7	-	1,04	39
Leghennen-opfokbatterij ⁸	Zweden, bandontmesting	-	1,7	-	0,7	41
Vleeskuikens-strooisel ⁹	USA, zomer, 7 d. oud	1,4	2,8	4,6	0,14	5
Vleeskuikens-strooisel ⁹	USA, zomer, 30 d. oud	7,6	9,3	11,0	0,48	5
Vleeskuikens-strooisel ¹⁰	NL, zomer, 2 stallen	0,6	2,4	4,1	0,55	23
Vleeskuikens-strooisel ¹¹	NL, lente, variabele bezetting	4,2	4,6	4,9	-	-

¹ (Preller, 1995), ² (Preller en Vogelzang, 1993), ³ (Attwood et al., 1986), ⁴ (Attwood et al., 1987),

⁵ (Mårtensson, 1995), ⁶ (Drost et al., 1995; Groot Koerkamp en Drost, 1993), ⁷ (Clark et al., 1983),

⁸ (Mårtensson and Löwgren, 1992), ⁹ (Jones et al., 1984), ¹⁰ (Haar et al., 1984),

¹¹ (Meekhof en van Middelkoop, 1995).

* 50%-afscheiding bij 8,5 µm.

* deeltjes kleiner dan 30 µm, overig 50 µm.

De 50%-afscheidingsdiameter voor de vermelde concentraties respirabelstof bedroeg, zoals is aangegeven in de tabel, niet altijd 7,07 µm (zie 2.4.2). Daarnaast was de maximale diameter van deeltjes totaalstof in enkele gevallen geen 50, maar 30 µm. In de literatuur werden geen

bruikbare gegevens over stofconcentraties in rundveestallen gevonden. De weinige beschikbare gegevens betroffen buitenlands onderzoek waarbij het stalsysteem nauwelijks werd omschreven.

De gemiddelde concentraties totaalstof in varkensstallen (diverse stal- en diertypen) lagen globaal tussen 1 en 6 mg/m³, met extreme waarden tot ca. 60 mg/m³ als bovengrens en 0,3 mg/m³ als ondergrens. Het aandeel respirabelstof bedroeg ca. 30%. De concentraties totaalstof in batterijstallen voor leghennen inclusief opfok lagen globaal tussen 1 en 5 mg/m³. De concentraties in volièrestallen met strooisel voor leghennen bedroegen gemiddeld ca. 11,5 mg/m³ (2,5 - 30,5 mg/m³), terwijl de concentratie in een scharrelstal in Zweden, 2,6 mg/m³, weinig afweek van die van de batterijstallen. Amerikaans en Nederlands onderzoek liet zien dat de concentratie totaalstof in stallen voor vleeskuikens toenam tijdens de mestrunde van ca. 0,5 mg/m³ aan het begin tot meer dan ca. 4 mg/m³ aan het eind. De concentratie respirabelstof vertoonde ook deze toename en lag gemiddeld op ca. 0,5 mg/m³. Ander Nederlands onderzoek daarentegen liet een vrij stabiele concentratie totaalstof zien tijdens de mestrunde. Dit onderzoek was uitgevoerd in proefstallen met kleine aantallen dieren.

Tabel 6 Kwalitatieve inschatting van de emissie van respirabelstof voor huisvestingssystemen waarvan geen metingen beschikbaar waren.

Table 6 *Estimation of the emission of respirable dust from housing system without quantitative information relative to comparable systems.*

Diersoort en huisvestingsvorm	Emissie respirabelstof
Vleeskalveren-boxen	gelijk aan vleeskalveren in groepshuisvesting
Vleesvarkens-volledig roostervloer	gelijk aan vleesvarkens op deel-roostervloer
Biggen-volledig roostervloer	gelijk aan biggen op deel-roostervloer
Kraamzeugen-volledig/deel-roostervloer	enigszins hoger dan guste/dragende zeugen in boxen
Leghennen-mestbandbatterij natte mest	enigszins lager dan leghennen in batterij met bandmestdroging

In tabel 6 zijn de emissies van respirabelstof kwalitatief ingeschat voor een aantal gangbare huisvestingssystemen waarvoor geen emissiegegevens beschikbaar waren. De emissie voor vleeskalveren in boxen, een huisvestingsvorm die in de toekomst zal verdwijnen, werd gelijk verondersteld aan die voor vleeskalveren in groepshuisvesting. Bij goed management in varkensstallen met een deelroostervloer zal geen of nauwelijks hokbevuiling optreden. Hokbevuiling zou enerzijds tot lagere emissies kunnen leiden omdat de varkens hun huid vochtig houden met natte mest. Anderzijds zou de drogende mest in combinatie met actieve dieren kunnen leiden tot hogere stofemissies. Er is derhalve geen effect van een ander vloertype op de stofemissie verondersteld. De emissie van respirabelstof van kraamzeugen op een (deel-) roostervloer is waarschijnlijk hoger dan van kraamzeugen in boxen. Zeugen op een roostervloer kunnen vrij bewegen en als gevolg van deze activiteit zal waarschijnlijk meer stof gegenereerd worden en minder stof neerslaan in de stal. De stofemissie uit een mestbandbatterij met natte mest zou enigszins lager kunnen zijn dan uit een batterijsysteem met droging zoals gemeten in dit onderzoek. Door de droging en de extra luchtbeweging zouden meer mestdeeltjes in de lucht kunnen komen.

PM₁₀-deeltjes zijn atmosferische deeltjes (vast of vloeibaar) met een aërodynamische diameter kleiner of gelijk aan 10 µm (10⁻⁶ meter) (Flocchini, 1994). Deze deeltjes kunnen vele, waaronder toxische, componenten bevatten. De PM₁₀-deeltjes kunnen worden onderverdeeld in twee klassen: grove delen met een diameter van 2,5 tot 10 µm en kleine deeltjes kleiner dan 2,5 µm. Stof uit de landbouw valt volgens Flocchini (1994) in de klasse 2,5-10 µm en is volgens hem minder toxisch dan stof uit stedelijke gebieden. Echter, de verdeling van de deeltjesgrootte en de samenstelling van het stof dat vrij komt bij agrarische activiteiten is niet bekend. Hij noemt met name bewerkingen in de akkerbouw, zoals ploegen, zaaien en oogsten, als bronnen van stofemissies.

4 Discussie en conclusies

4.1 Klimaat en ventilatie

Uit de vergelijking van de waarnemingen in tabel 3 met handboeken voor de rundvee-, varkens- en pluimveehouderij kon geconcludeerd worden dat het onderhavige onderzoek in stallen heeft plaatsgevonden met representatief management ten aanzien van klimaatregeling en onder zeer uiteenlopende klimaatomstandigheden. De berekende ventilatiedebieten waren enigszins lager dan aanbevolen, maar dit verschil kon niet als een structurele onderschatting van het ventilatiedebiet worden aangemerkt.

4.2 Stofconcentraties

Het gebruikte statistische model gaf een adequate beschrijving van de stofconcentraties in en de stofemissies van de 10 huisvestingsystemen. Door de aanname van een absolute meetfout als gevolg van de massabepaling van de filters, konden ook de negatieve concentraties worden meegenomen in de analyse. Dit bood grote voordelen ten opzichte van de standaard procedure bij stofonderzoek, waarbij negatieve concentraties buiten de analyse moeten worden gelaten. De theoretisch berekende detectiegrens van $0,034 \text{ mg/m}^3$ gaf voor een individuele meting aan boven welk niveau een concentratie redelijk zeker vastgesteld kon worden, maar had voor de gebruikte analyse verder geen betekenis. De gegeven concentraties per systeem zijn geometrisch gemiddelden omdat een logtransformatie is gebruikt.

De definitie van PM_{10} -deeltjes is voor wat betreft de diameter van de deeltjes ruimer dan de afscheidingskarakteristiek van respirabelstof. Deeltjes met een diameter tussen $7,07$ en $10 \mu\text{m}$ vallen wel binnen de definitie van PM_{10} , maar werden niet gemeten met de apparatuur voor respirabelstof. Uit de literatuur bleek dat de diameter van stof uit de landbouw groter zou zijn dan $2,5 \mu\text{m}$, maar waarschijnlijk is hierbij geen rekening gehouden met stof uit veehouderijgebouwen. Geconcludeerd kon worden dat een (exacte) verdeling van de massa per diametercategorie van agrarisch stof niet bekend is. Verder kon worden geconcludeerd dat de gemeten concentratie respirabelstof zeker geen overschatting en mogelijk zelfs een onderschatting geeft voor de concentratie PM_{10} -deeltjes.

Bij de vergelijking van stofconcentraties moet er rekening mee worden gehouden dat totaalstof en respirabelstof in verschillende onderzoeken op verschillende wijze kunnen zijn gemeten. In een aantal gevallen is de meetmethode goed omschreven, in andere gevallen slechts summier. Als de stoffracties verschillend zijn, zijn ze niet goed vergelijkbaar. Daarnaast kunnen grote verschillen optreden tussen dezelfde huisvestingsvormen in verschillende landen als gevolg van verschillen in buitenklimaat en management (bijvoorbeeld lichtregime, klimaatregeling, voersoort en -methode, mestbehandeling).

De gemiddelde concentraties totaalstof in varkensstallen in dit onderzoek (tabel 4) lagen binnen de range uit het literatuuroverzicht ($1\text{-}6 \text{ mg/m}^3$, tabel 5). De maximale concentraties in de literatuur liepen op tot ca. 60 mg/m^3 , terwijl in de Nederlandse praktijkstallen maximaal ca. 6 mg/m^3 werd gemeten. De lagere concentratie voor guste/dragende zeugen kon verklaard worden doordat deze dieren weinig bewegingsvrijheid hebben in de boxen. De concentratie totaalstof in batterijstallen voor leghennen in dit onderzoek ($0,68 \text{ mg/m}^3$) lag net onder de range die in de literatuur werd gevonden ($1\text{-}5 \text{ mg/m}^3$). De gemiddelde concentraties totaalstof in volièrestallen (literatuur) en scharrelstallen (EU-project) voor leghennen waren beide hoog (globaal 10 mg/m^3). Beide huisvestingsvormen waren voorzien van strooisel waarin de hennen konden scharrelen en stofbaden. Uit de metingen bleek dat de concentraties 's nachts aanzienlijk lager waren dan overdag. De gevonden concentraties voor totaalstof in het EU-project voor vleeskuikens in de vierde week van de cyclus (ca. $6\text{-}18 \text{ mg/m}^3$) lagen hoger dan de

gevonden concentraties in ander Nederlands onderzoek (maximaal ca. 5 mg/m³).

Geconcludeerd kon worden dat de concentratiemetingen in het EU-project geen grote verschillen vertoonden met de literatuurgegevens; doorgaans lagen de metingen in dezelfde range als de literatuur, soms enigszins eronder, soms enigszins erboven. Daarnaast bleek de aanwezigheid van strooisel (leghennen-scharrel/volière en vleeskuikens) tot hogere stofconcentraties in de stallen te leiden, terwijl beperking van de bewegingsmogelijkheden (zeugen in boxen) van de dieren tot lagere concentraties leidde.

Uit verschillende onderzoeken is bekend dat (hoge) stofconcentraties in stallen een negatieve invloed hebben op de gezondheid van de veehouders (Preller, 1995). De gemeten concentraties totaal- en respirabelstof in het EU-project in met name varkens- en pluimveestallen geven aanleiding voor nader onderzoek naar de gezondheidseffecten bij de veehouders en mogelijkheden om deze stofconcentraties in de stal te verlagen.

4.3 Stofemissies

Op basis van voorgaand onderzoek zijn voor het eerst berekeningen gemaakt van de emissie van respirabelstof uit stallen. Hierbij kunnen enkele opmerkingen worden gemaakt. Ten eerste betrof het alleen de emissie van het huisvestingsgedeelte van de dieren en niet van het integrale produktiesysteem. Emissies van stof tijdens het verblijf van de dieren buiten de stal (bijvoorbeeld melkkoeien in de zomer), alsmede als gevolg van het gebruik van een mestopslag, het reinigen van stallen, het laden en lossen van voersilo's en het laden en lossen van dieren zijn derhalve niet meegenomen. Ten tweede konden de emissieberekeningen van dit onderzoek niet worden vergeleken met eerder uitgevoerd onderzoek. Echter, omdat het onderzoek breed van opzet was en zorgvuldig werd uitgevoerd, kunnen de in dit rapport gepresenteerde emissies van respirabelstof uit veehouderijgebouwen als goede schattingen worden gezien. Tenslotte bleek uit de literatuur dat naast veehouderijgebouwen ook van andere agrarische activiteiten wordt verondersteld dat zij bijdragen aan stofconcentraties in de buitenlucht.

Het effect van de buitentemperatuur op de emissies van respirabelstof uit veehouderijgebouwen was niet groot en bovendien niet significant. Geconcludeerd kon worden dat de variatie van de emissie gedurende het jaar rond de gemiddelde waarden van weinig betekenis was.

De emissies van respirabelstof zijn weergegeven per aanwezig dier. Bij de vertaling van deze emissies naar emissieniveaus per dierplaats per jaar zal met de volgende aspecten rekening moeten worden gehouden. Ten eerste was op het tijdstip van meten aan all-in/all-out systemen (leghennen, vleeskalveren, vleesvarkens, biggen en vleeskuikens) het aantal aanwezige dieren lager dan het aantal dierplaatsen als gevolg van uitval tijdens de ronde. Ten tweede moet rekening worden gehouden met een leegstandsperiode waarin de emissie van stof waarschijnlijk verwaarloosbaar is ten opzichte van die tijdens de produktiecyclus. Ten derde moet een aanname worden gedaan voor de all-in/all-out systemen (vleeskalveren, vleesvarkens, biggen en vleeskuikens) ten aanzien van het verloop van de emissie van respirabelstof tijdens de produktiecyclus. Uit de literatuur bleek dat voor vleeskuikens de stofconcentraties in de stal stegen gedurende de produktiecyclus. Het lijkt aannemelijk om ook voor de emissie eenzelfde stijging te veronderstellen.

In dit rapport is slechts verslag gedaan van stofconcentraties in en stofemissies uit veehouderijgebouwen in Nederland. Aangezien algemeen wordt aangenomen dat zich aan stof andere deeltjes, zoals microorganismen en/of gassen, kunnen hechten, moet in de toekomst ook zeker naar specifieke schadelijkheid van stof worden gekeken. Hierbij kan gedacht worden aan endotoxinen en mycotoxinen. Verder is uit visuele waarnemingen algemeen bekend dat in de nabijheid van pluimvee- en varkensstallen grote hoeveelheden stof kunnen neerslaan. Met

name bij stallen met dwarsventilatie wordt de ventilatielucht niet omhoog, maar horizontaal weggeblazen, waardoor veel stof al naast de stal neerslaat. Naast deze depositie in de nabijheid van de bron, is ook het transportgedrag van het stof in de atmosfeer van belang. Grotere deeltjes zullen zich daarbij waarschijnlijk anders gedragen dan kleinere deeltjes. Het depositiegedrag van stof behoeft derhalve nader onderzoek als de effecten van stofemissies uit stallen nader worden bestudeerd.

De volgende elementen kunnen worden aangemerkt als bronnen van stof in veehouderijstallen: dier, voer, mest en eventueel aanwezig strooisel. Variatie in deze bronnen kan optreden als gevolg van: ventilatiedebiet en ventilatiepatroon, activiteit van de dieren, voersoort en voersysteem en luchtvochtigheid in de stal. Sinds een aantal jaren wordt onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om stofconcentraties in *varkensstallen* te verlagen. De meest belovende technieken waren overschakeling op brijvoer in plaats van droogvoer en vernevelen van minerale olie boven de hokken. Filteren van ventilatielucht kan niet gezien worden als een voor de hand liggende oplossing om stofemissies te verminderen. Ten eerste zijn de ventilatiedebieten per stal hoog (tot ca. 100.000 m³/uur is geen uitzondering) en ten tweede heeft een luchtfilter een hoge weerstand, zodat energiekosten aanmerkelijk zullen toenemen en extra investeringen in het ventilatiesysteem noodzakelijk zijn.

Summary

There is a lack of knowledge about the contribution of the different sources that contribute to the concentration of fine dust (approximately particles with a diameter less than 10 μm) in the environment. Besides a large contribution of sources abroad (80%), also Dutch sources, among others agricultural activities, contribute to the concentration of fine dust in the environment. This research was carried out to estimate the emission rates of fine dust for the ten most common types of livestock houses in the Netherlands.

Emissions of respirable dust were calculated for four housing types for cattle (dairy tie-stall and cubicles, beef and veal calves on in group pens on slatted floors), for three housing types for pigs (sows, weaners and fatteners on partially slatted floors) and three housing types for poultry (layers in a deep litter and a cage system and broilers on litter). The measurements for veal calves, weaners, fatteners and broilers were taken at three quarter of the production period. Concentrations of inhalable and respirable dust were measured and ventilation rates were estimated on basis of the carbon dioxide balance in four replicates of each housing type in a summer and a winter situation. Results were analyzed with the Iteratively Reweighed Residual Maximum Likelihood (IRREML) procedure, so that variances of different error strata were estimated.

The temperatures in the different housing types were according expectations. The minimum and maximum ventilation rates were a little lower than the advised levels. The concentrations of inhalable dust in cattle houses were below 0.5 mg/m^3 , in pig houses between 1.1 and 3.4 mg/m^3 , in poultry houses with litter around 10 mg/m^3 and in battery cage systems about 0.7 mg/m^3 . The relative concentrations of respirable dust were between 9 and 20% of the concentration of inhalable dust. These measured concentrations did not differ very much from values found in the literature.

Mean yearly emissions per animal were the highest for cattle (dairy tie-stall and cubicles, beef and veal calves respectively 11.0, 15.6, 23.8 and 5.3 mg/h), followed by pigs (sows, weaners and fatteners respectively 6.4, 3.3 and 6.9 mg/h), and the lowest for poultry (layers-litter and cages and broilers respectively 2.3, 0.14 and 1.6 mg/h). The emissions did not show a clear yearly variation with the outside temperature.

The coefficient of variation of the emissions was highest for the housing systems with the lowest dust concentrations (36 - 67%, cattle houses). At these low dust concentrations the absolute error at the lowest stratum was larger than the relative errors at the higher error strata. The coefficient of variation for the other housing systems was about 30%.

Reduction of the emissions of fine dust by means of lowering the concentration in livestock houses seems possible, but practical applicable possibilities are hardly available. Besides the emissions of fine dust from livestock houses and other agricultural activities, also the possible effects on the health of man and animal have to be taken into account.

Literatuur

Annema, J.A., H. Booiij, J.M. Hesse, A. van der Meulen en W. Slooff, 1994. Basisdocument fijn stof. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, rapport nr. 710401029, 101 pp.

Attwood, P., P. Versloot, D. Heederik, R. de Wit and J.S.M. Boleij, 1986. Assessment of dust and endotoxin levels in the working environment of Dutch pig farmers: a preliminary study. *Annals of Occupational Hygiene* 30(2): 201-208.

Attwood, P., R. Brouwer, P. Ruigewaard, P. Versloot, R. de Wit, D. Heederik and J.S.M. Boleij, 1987. A study of the relationship between airborne contaminants and environmental factors in Dutch swine confinement buildings. *American Industrial Hygiene Association Journal* 48(8): 745-751.

Clark, S., R. Rylander and L. Larsson, 1983. Airborne bacteria, endotoxin and fungi in dust poultry and swine confinement buildings. *American Industrial Hygiene Association Journal* 44: 537-541.

Drost, H., D.W. van der Drift en H.H.E. Oude Vrielink, 1995. Arbeidshygiëne. In: Blokhuis, H.J. en J.H.M. Metz (ed.), *Voliërehuisvesting voor leghennen*. Wageningen, IMAG-DLO rapport 95-5, p. 107-121.

Flocchini, R.G., 1994. PM-10 the unknown compound. *California Agriculture* 48(4): 2

Groot Koerkamp, P.W.G. en H. Drost, 1993. Air contaminants in poultry production systems, 2: The Netherlands. In: Savory, C.J. and B.O. Hughes (eds), *Proceedings of the fourth European symposium on poultry welfare*. Edinburgh, september 18-21, p. 110-116.

Haar, R. van der, M. Waegemaekers en R. van Welle, 1984. Verhip... Een bedrijfshygiënisch onderzoek in de slachtkuikenhouderij. Wageningen, Landbouwhogeschool vakgroep Gezondheidsleer, verslag 1984-177, 71 pp.

Jones, W., K. Moring, S.A. Olenchock, T. Williams and J. Hickey, 1984. Environmental studies of poultry confinement buildings. *American Industrial Hygiene Association Journal* 45: 760-766.

Keen, A., 1994. Procedure IRREML. In: P.W. Goedhart en J.T.N.M. Thissen (Eds.). *Genstat 5 GLW-DLO Procedure Library Manual*. Rapport LWA-94-16, GLW-DLO, Wageningen.

Mark, D. and J.H. Vincent, 1986. A new personal sampler for airborne total dust in workplace. *British Occupational Hygiene Society* 30: 89-102

Mårtensson, L., 1995. Respiratory hazards in houses for laying hens. *Human sustainability in agriculture: health, safety, environment*. Lewis Publishers/CRC Press, p. 563-569.

Mårtensson, L. and W. Löwgren, 1992. Studies of air quality and climatic conditions in a multiple tier caging system for laying type pullets. In: *Proceedings 19th Worlds Poultry Congress, Amsterdam 19-24 September, Vol. 2*, p. 167-172.

Meekhof, A.W. en J.H. van Middelkoop, 1995. Stof in pluimveestallen. *Praktijkonderzoek* 95/3: 17-20.

Phillips, V.R., M.R. Holden, R.W. Sneath, J.L. Short, R.P. White, J. Hartung, J. Seedorf, M. Schröder, S. Pedersen, H. Takai, J.O. Johnsen, P.W.G. Groot Koerkamp, R. Scholtens, E.N.J. van Ouwkerk, G.H. Uenk, J.H.M. Metz and C.M. Wathes, 1996. A field survey of gaseous and

particulate air pollution in and from Northern European livestock buildings. Part 1: The development of robust methodologies for measuring concentrations and hence estimating emission rates. Submitted for publication in the Journal of Agricultural Engineering Research.

Preller, L., 1995. Respiratory health effects in pig farmers. Assessment of exposure and epidemiological studies of risk factors. PhD thesis, LUW, Wageningen, 173 pp.

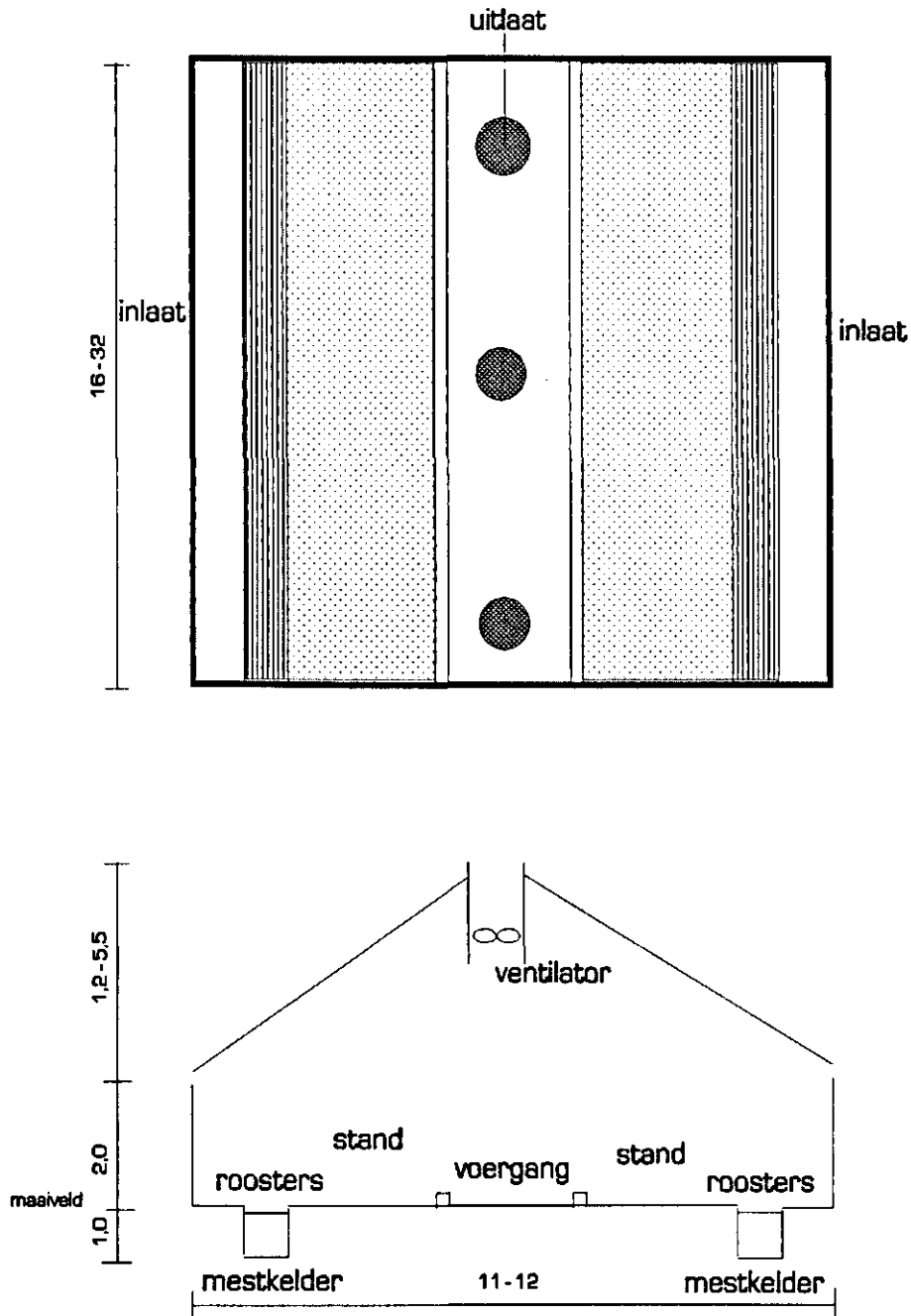
Preller, L. en P. Vogelzang, 1993. Gezondheid varkenshouder aan risico's blootgesteld. Stichting gezondheidsdienst voor dieren in Zuid-Nederland, Boxtel, rapport 93.001, 111 pp.

Takai, H., J.O. Johnsen and P. Dahl, 1993. Gravimetric Method for Stationary Measurement of Airborne Dust Concentration in Livestock Buildings (version 93.0420). Research Centre Bygholm, Horsens, Denmark.

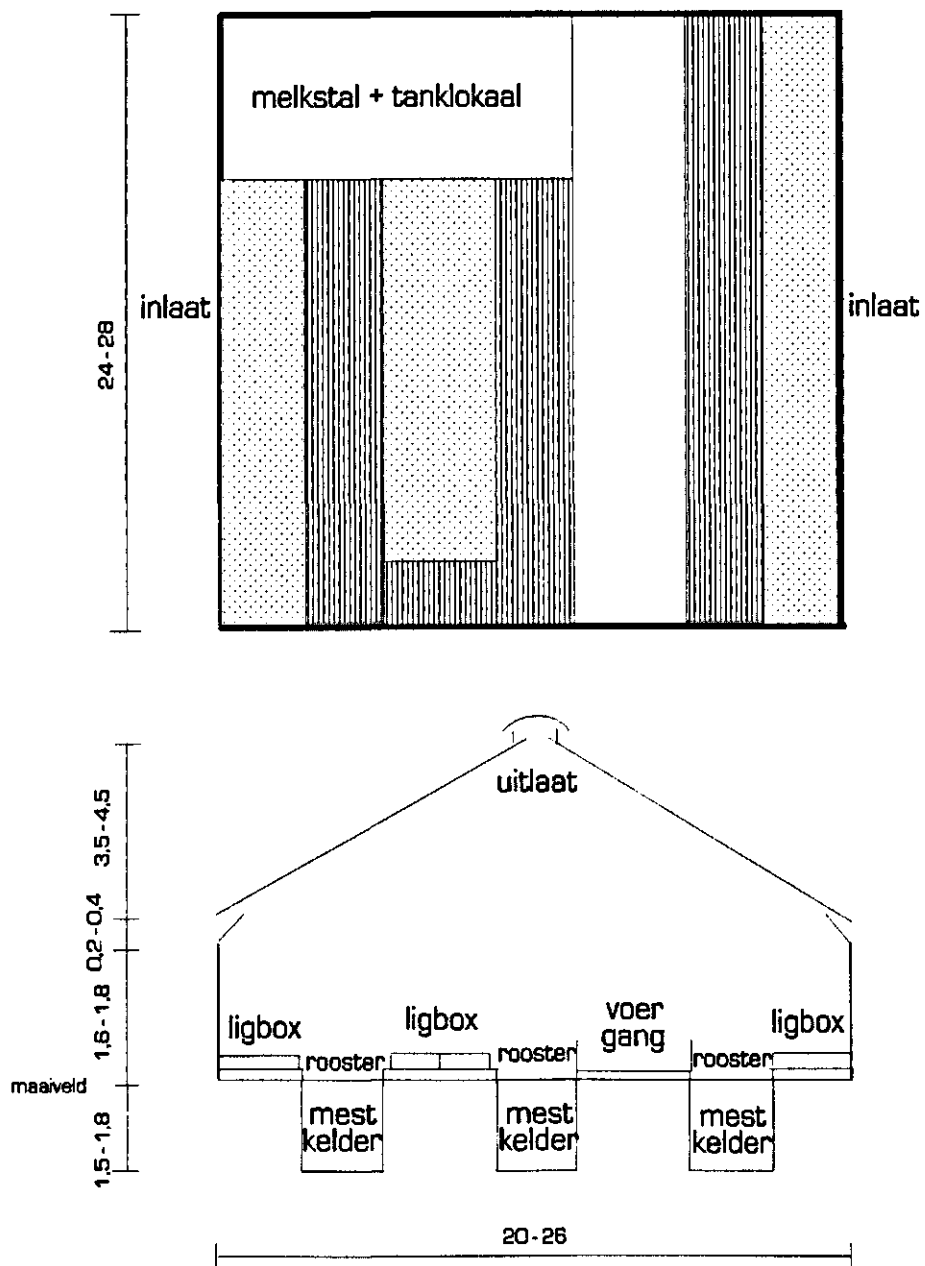
Van Ouwerkerk, E.N.J. en S. Pedersen, 1994. Application of the carbon dioxide mass balance method to evaluate ventilation rates in livestock buildings. In: Proceedings of the XII CIGR World Congress on Agricultural Engineering, Milano, vol. 1: 516-529

Bijlagen

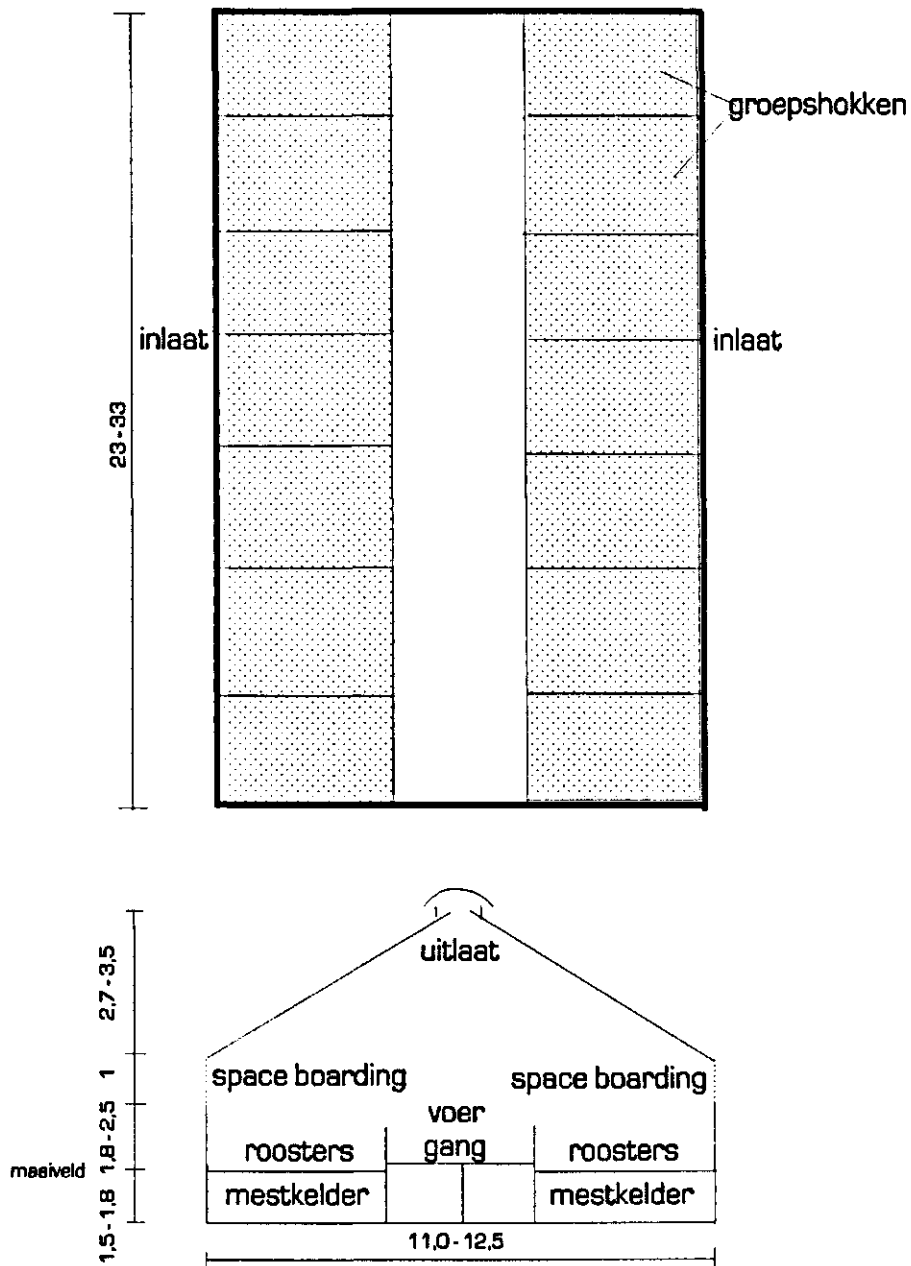
Bijlage A



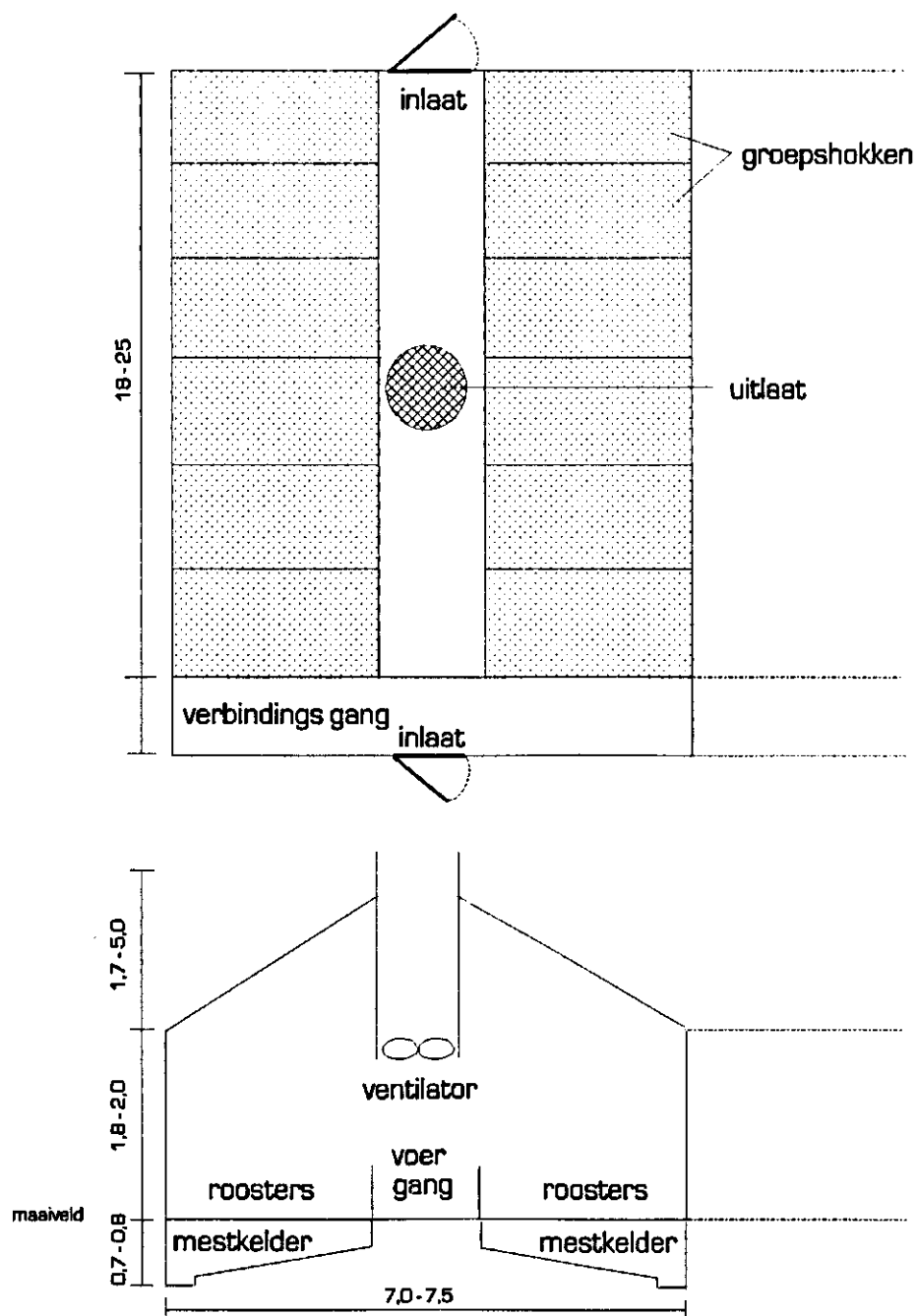
Figuur A-1 Melkkoeien in een grupstal. Mestkelder voor drijfmest met beperkte opslagcapaciteit (drie tot vier weken). De standen zijn bedekt met rubber matten en/of stro of zaagsel. Voer: ruwvoer en krachtvoer. Mechanische ventilatie met luchtinlaten in de zijmuren en ventilator(en) in de nok. In de stallen was plaats voor respectievelijk 30, 30, 50 en 58 stuks vee. Alle maten in meters.



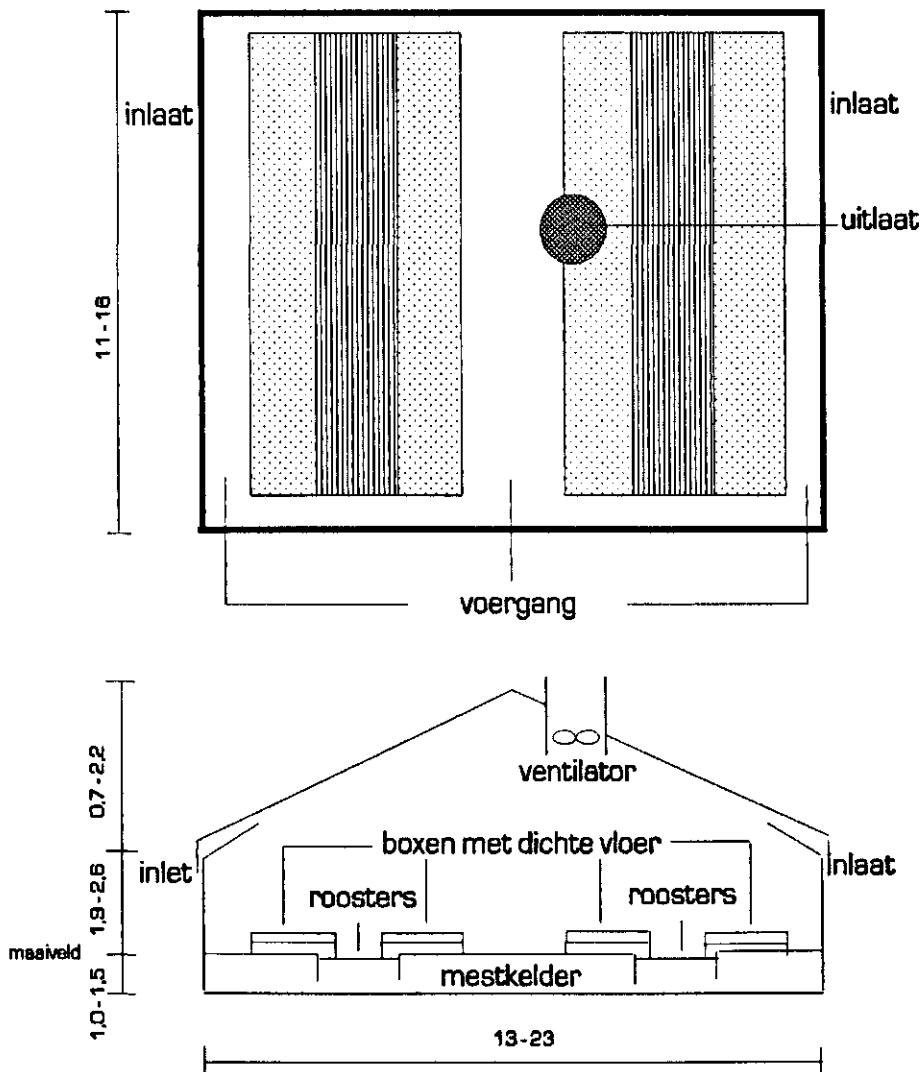
Figuur A-2 Melkkoeien in een ligboxenstal. Ligboxen met zaagsel of gehakseld stro. Voer: ruwvoer, maïs en krachtvoer. Natuurlijke ventilatie met luchtinlaten in de zijwanden en lucht uitlaat in de nok. In de stallen was plaats voor respectievelijk 50, 60, 70 and 115 stuks vee. Alle maten in meters.



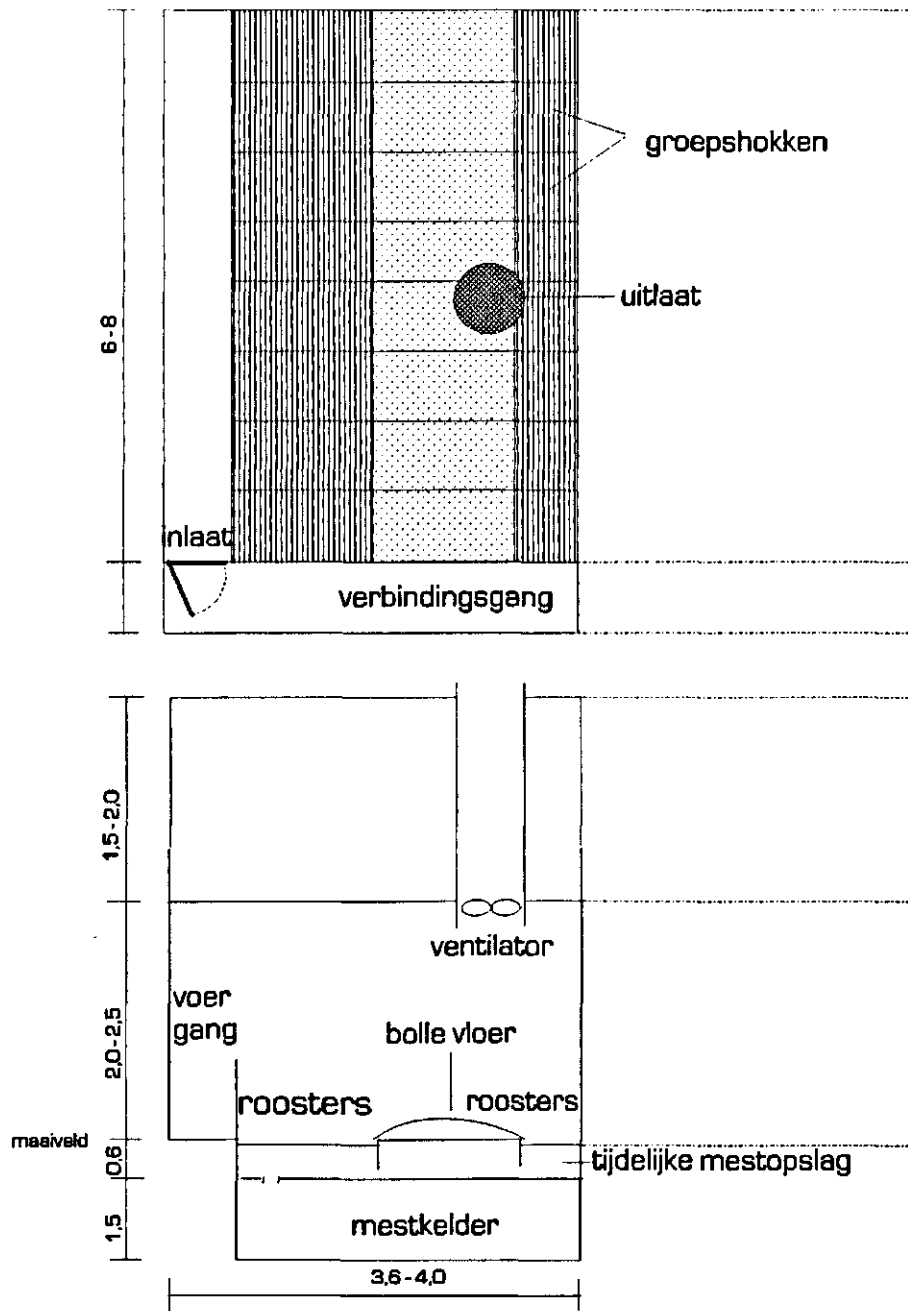
Figuur A-3 Vleesstieren met een leeftijd oplopend van 6 tot 18 maanden (150-600 kg). De stieren werden gehouden in groepshokken van 4 tot 6 stuks op een volledig roostervloer. Voer: maïs, krachtvoer en bijprodukten. De stallen waren natuurlijk geventileerd, met luchtinlaten in de zijwanden (space boarding; hoogte 1 m, spleet 2-3 cm, dicht 5-6 cm) en luchtuitlaat in de nok. Inlaat- en uitlaatopening over de volle lengte van de stal. In de stallen was plaats voor respectievelijk 60, 93, 95 en 108 stieren. Alle maten in meters.



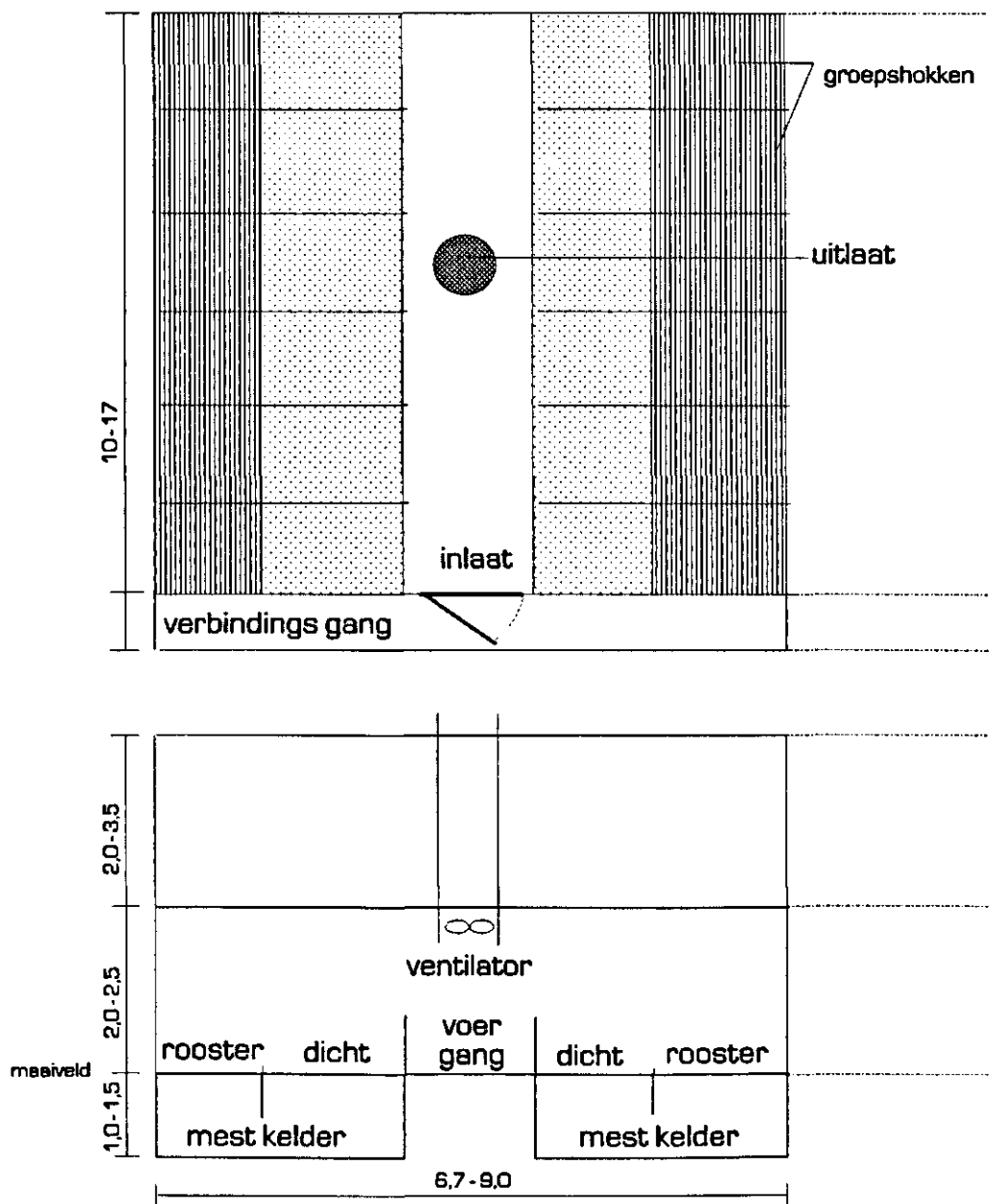
Figuur A-4 Vleeskalveren met een leeftijd van 3 tot 6 maanden (125-200 kg). De voeding bestond uit kunstmelk met een klein deel maïs (roze vleesproductie). De kalveren waren gehuisvest in afdelingen van 60 tot 80 stuks, met groepshokken voor 5 tot 6 kalveren. Mechanische ventilatie met lucht inlaten door deuren (met windbrekers en rolgordijn) en ventilator in de nok. In de stallen was in elke afdeling plaats voor respectievelijk 56, 65, 65 en 66 kalveren. Alle maten in meters.



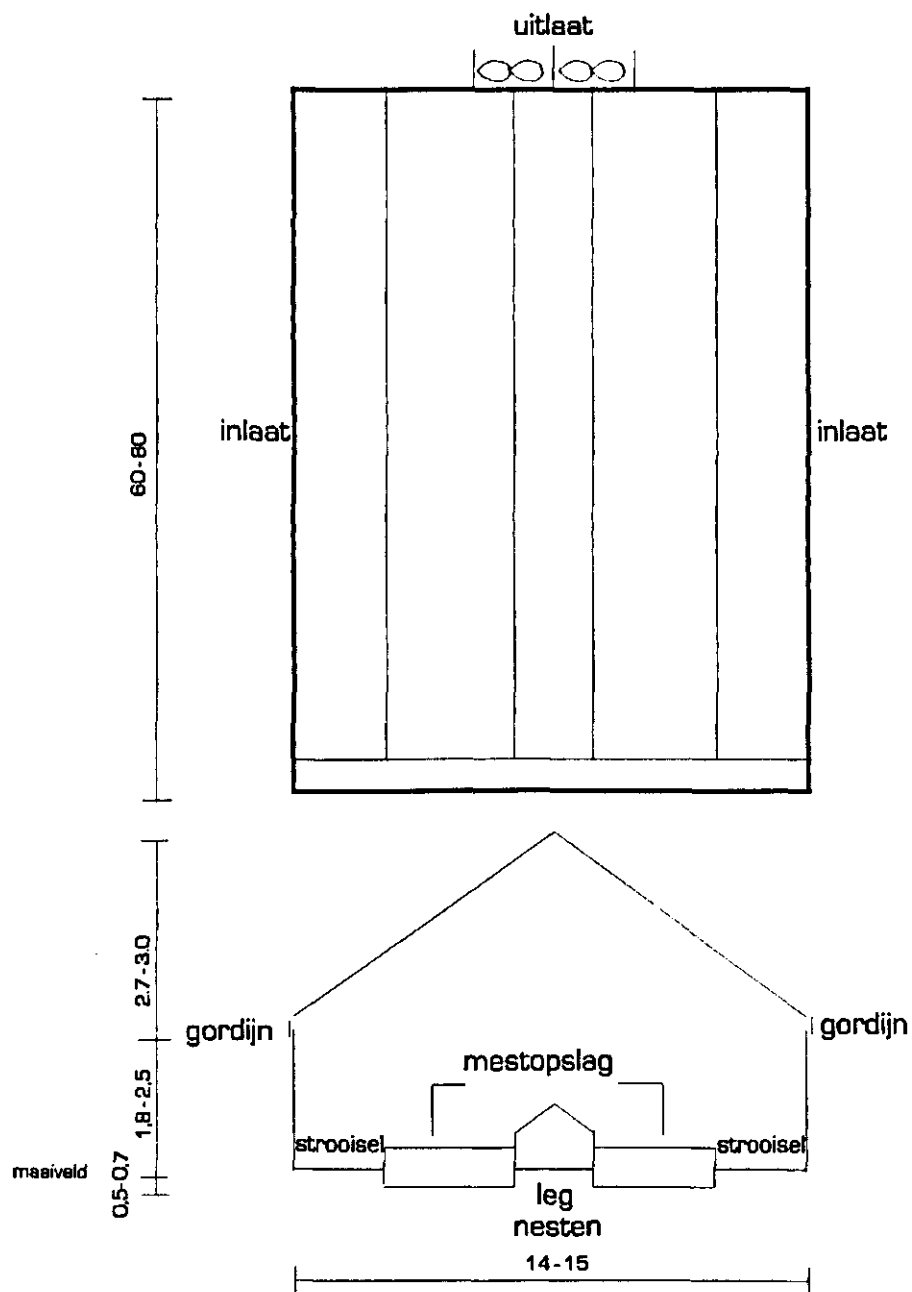
Figuur A-5 Dragende zeugen gehuisvest in boxen. Achterste gedeelte in de box roostervloer (mestgedeelte), rest dichte vloer. Mestopslag onder de roosters, met zogenaamde stankafsluiters. Voer: krachtvoer. Mechanische ventilatie met luchtinlaten in de zijwand (lucht eventueel opgewarmd in een centrale gang) en ventilator(en) in de nok. In de stallen was in elke afdeling plaats voor respectievelijk 60, 69, 84 en 102 zeugen. Alle maten in meters.



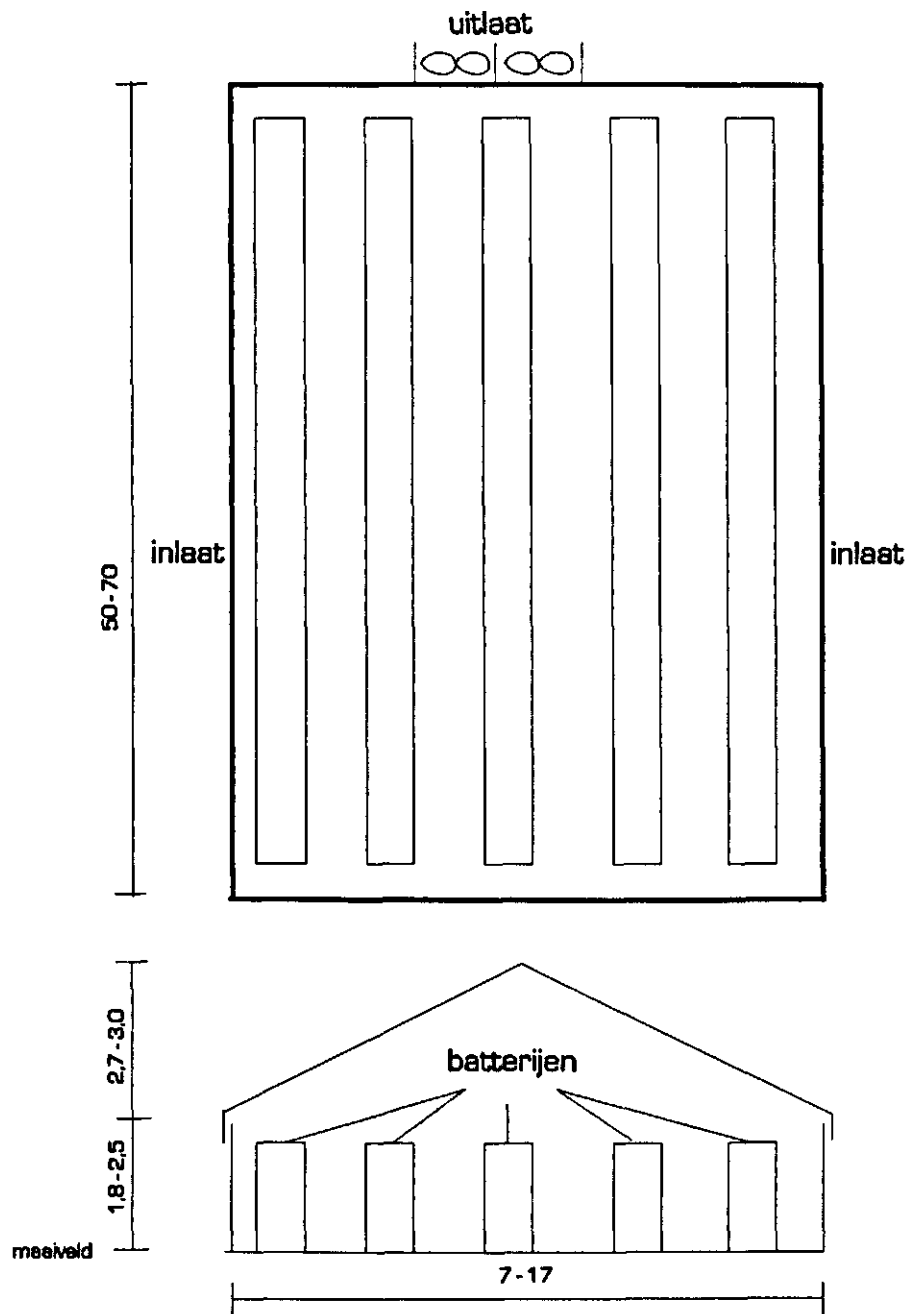
Figuur A-6 Gespeende biggen op gedeeltelijk roostervloer en gedeeltelijk dichte bolle vloer met vloerverwarming. Voer: droogvoer met trognippel. Inlaatopening in of boven toegangsdeur van de afdeling (voergangventilatie), lucht wordt voorverwarmd in de centrale gang. Kleine mestopslag onder de roosters voor de duur van één opfokperiode (4 tot 6 weken). In de stallen was in elke afdeling plaats voor respectievelijk 60, 80, 80 en 102 biggen. Alle maten in meters.



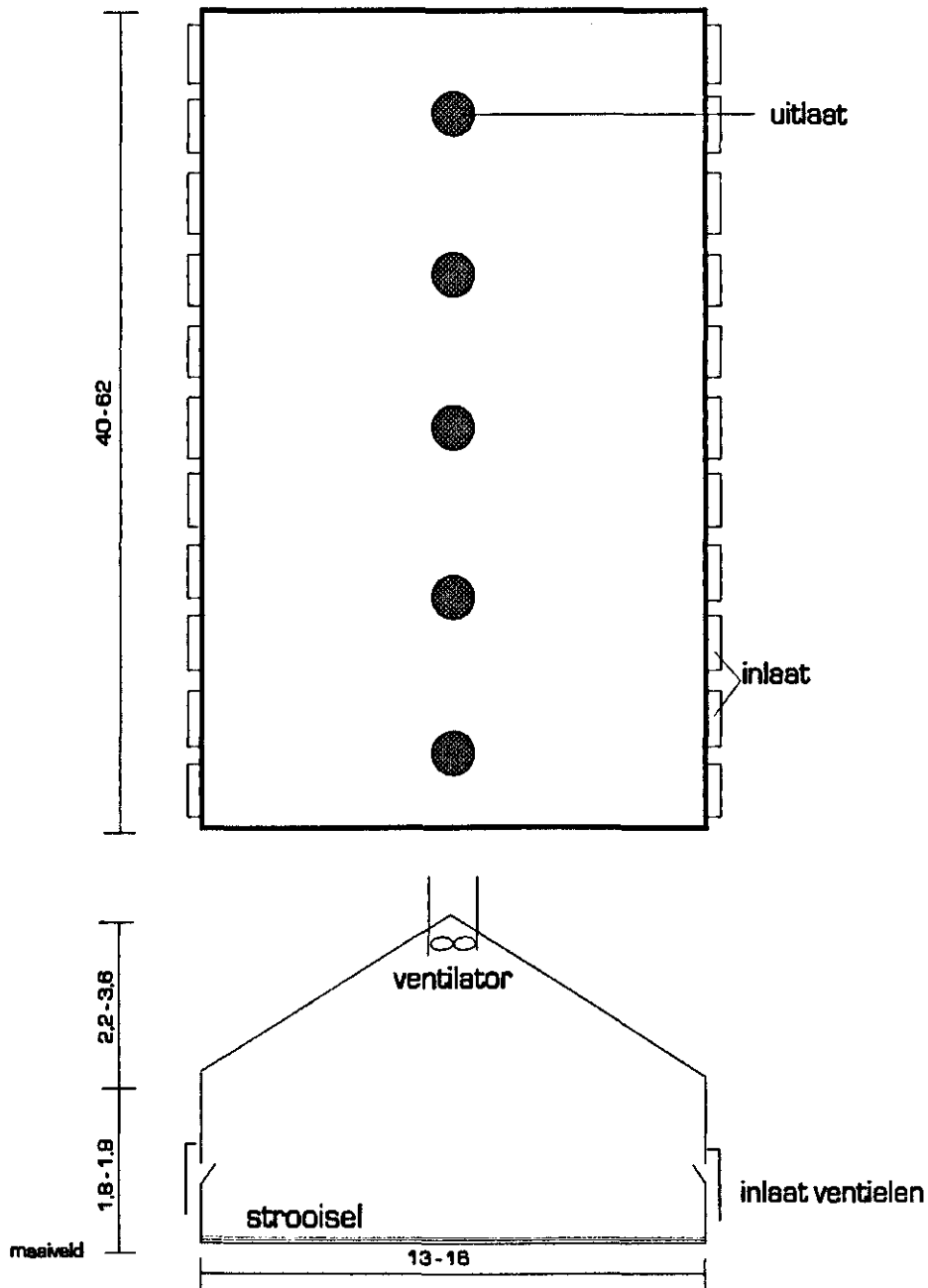
Figuur A-7 Vleesvarkens in afdelingen van 70 tot 100 stuks op een halfroostervloer (leeftijd 1,5 tot 3 maanden). Voer: krachtvoer (2) of brijvoer (2). Mechanische ventilatie met lucht inlaten in of boven de toegangsdeur (voergangventilatie) en een ventilator in de nok. In de stallen was in elke afdeling plaats voor respectievelijk 74, 80, 88 en 100 vleesvarkens. Alle maten in meters.



figuur A-8 Leghennen in scharrelstal (7 hennen per m²) met strooisellaag 5 à 10 cm. Het strooiseloppervlak besloeg ca. 30%, de legnesten ca. 15% en de beun onder houten of metalen roosters ca. 55%. Strooisel en mest na elke ronde verwijderd. Voer: legmeel. Natuurlijke of mechanische (lengte-) ventilatie, luchtinlaten in de zijwanden (gordijnen of ventielen) en luchtuitlaat in de nok (natuurlijke ventilatie) of in de kopse kanten. In de stallen was plaats voor respectievelijk 6.000, 6.400, 7.800 en 7.900 leghennen. Alle maten in meters.



Figuur A-9 Leghennen in batterijstal met mestbandbeluchting (ca. $0,75 \text{ m}^3/\text{u}$ per hen) en wekelijks afdraaien van de mest (meting op dag van afdraaien). Voer: legmeel. Mechanische ventilatie met luchtinlaten in de zijmuren, geregeld via kleppen en ventilatoren in één van de twee kopse kanten (lengteventilatie). In de stallen was plaats voor respectievelijk 16.000, 21.000, 25.000 en 26.000 leghennen. Alle maten in meters.



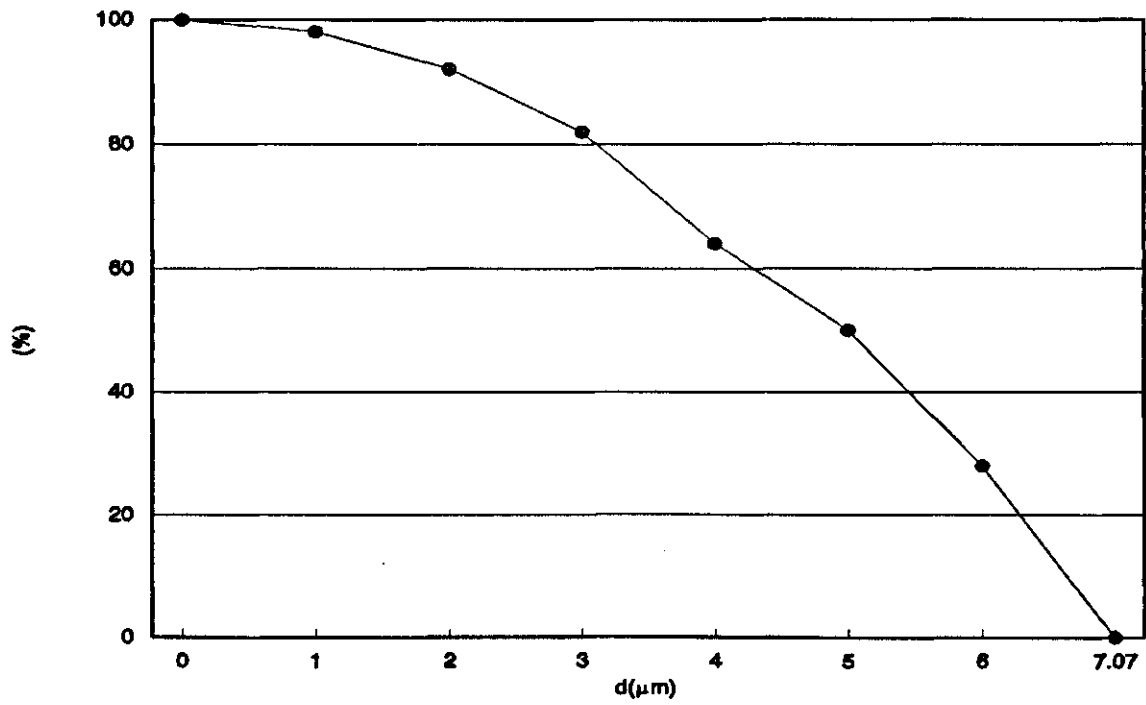
Figuur A-10 Vleeskuikens in traditionele strooiselstal. De metingen werden in de vierde levensweek verricht (gewicht ca. 1,2 tot 1,4 kg). Bezetting 20 à 25 dieren per m². Het strooisel werd na elke mestronde verwijderd. Voer: korrels. Mechanische ventilatie met luchtinlaten in de zijmuren (kleppen of ventielen) en ventilatoren in de nok. In de stallen was plaats voor respectievelijk 3.000, 14.000, 21.000 en 24.500 vleeskuikens. Alle maten in meters.

Bijlage B

Tabel B-1 Hoogte in meters (niveau 1 en 2) en plaats (niveau 3) waar stofconcentraties zijn gemeten in verschillende huisvestingssystemen.

		Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Rundvee	melkkoeien in grupstal	0,75	1,75	uitlaat
	melkkoeien in ligboxenstal	2,5	3,5	uitlaat
	vleesstieren	2,5	3,5	uitlaat
	vleeskalveren	2,0	3,0	uitlaat
Varkens	guste/dragende zeugen	1,5	2,5	uitlaat
	biggen	0,75	1,75	uitlaat
	vleesvarkens	1,5	2,5	uitlaat
Pluimvee	leghennen in scharrelstal	0,5	1,5	uitlaat
	leghennen in legbatterij	0,5	1,5	uitlaat
	vleeskuikens	0,5	1,5	uitlaat

Bijlage C



Figuur C-1 Afscheidingskarakteristiek van de SKC-cycloon filter.