



Rapport 199

De effectiviteit van ventilatie bij drie ventilatiesystemen in afdelingen voor gespeende biggen

April 2001

Colofon

Uitgever



Praktijkonderzoek Veehouderij
Postbus 2176, 8203 AD Lelystad
Telefoonnr. 0320 -293 211
Fax. 0320 - 231 584
E-mail info@pv.agro.nl
Internet: <http://www.pv.wageningen-ur.nl>

Redactie

Praktijkonderzoek Veehouderij

© Praktijkonderzoek Veehouderij

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

Aansprakelijkheid

Het Praktijkonderzoek Veehouderij aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen

Bestellen

ISSN 0169-3689
Eerste druk 2001/oplage 300
Prijs € 17,50 (*f* 38,56)

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



Rapport 199

De effectiviteit van ventilatie bij drie ventilatiesystemen in afdelingen voor gespeende biggen

The effectiveness of ventilation for three ventilation systems in nursery rooms for pigs

A.V. van Wagenberg

M.A.H.H. Smolders

April 2001

Samenvatting

De kwaliteit van het stalklimaat op dierniveau (het microklimaat) kan uitgedrukt worden in de concentraties van vervuilende stoffen zoals ammoniak, stof en bacteriën en in de luchttemperatuur, luchtvochtigheid en lichtsnelheid. Ventilatie heeft tot taak deze vervuilende stoffen en ook het teveel aan warmte uit de leefomgeving van de dieren af te voeren. De luchtverdeling in combinatie met de locaties van de bronnen van vervuilende stoffen bepalen de verdeling van de vervuilende stoffen in de ruimte. De luchtverdeling in de stal wordt in belangrijke mate beïnvloed door het soort luchtaanvoersysteem.

In de varkenshouderij zijn verschillende ventilatiesystemen gebruikelijk. Doel van dit onderzoek is het testen van een meetopstelling om de ventilatie effectiviteit te bepalen. De verwachting is inzicht te krijgen in de effectiviteit van de ventilatie bij verschillende systemen.

De effectiviteit van ventilatie wordt in dit onderzoek uitgedrukt in de ventilatie effectiviteit (VE). In een perfect gemengde ruimte zal de waarde voor VE gelijk zijn aan 1. De concentratie van vervuilende stoffen in de uitgaande lucht is dan gelijk aan de concentratie van vervuilende stoffen op iedere plaats in de stal, ook op dierniveau. Wanneer de waarde van VE lager is dan 1, is de concentratie vervuilende stoffen in de luchtuitlaat lager dan op dierniveau. VE kan echter ook hoger worden dan 1; dan is er sprake van effectieve ventilatie omdat de concentratie vervuilende stoffen in de uitgaande lucht hoger is dan op dierniveau. VE kan ook worden berekend voor de afvoer van warmte uit een stal.

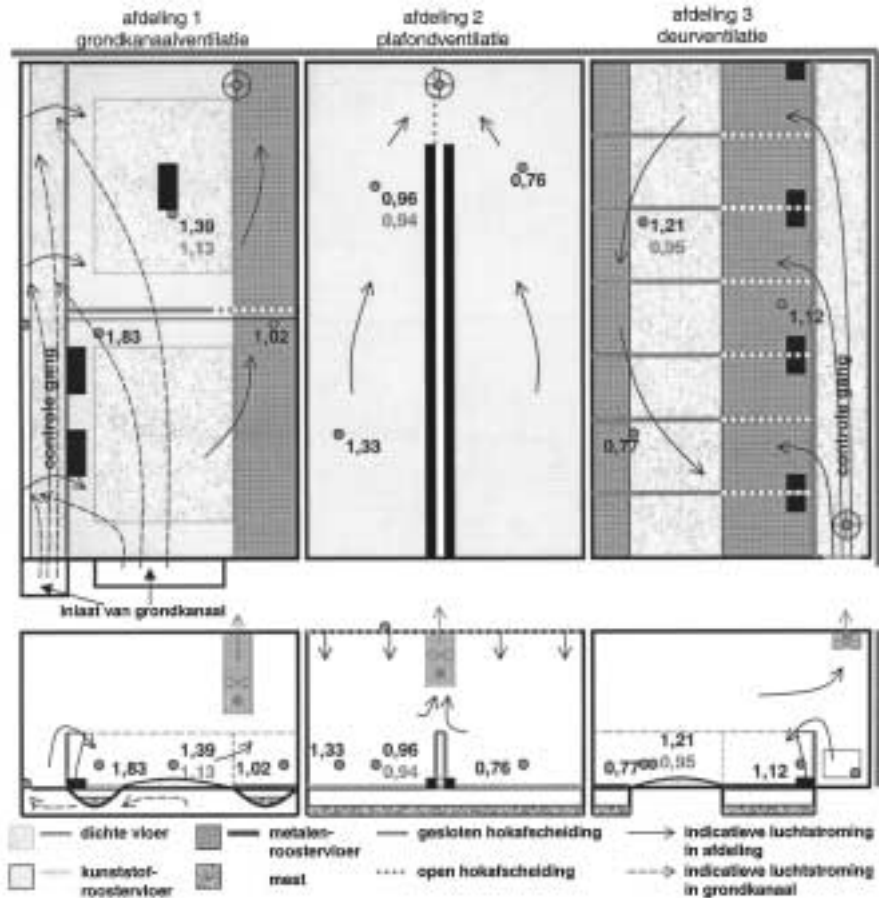
In de praktijk is een effectieve verwijdering van ongewenste stoffen (in dit onderzoek wordt CO₂ als indicatorgas gebruikt) op dierniveau zeer belangrijk wanneer er verwarming van de lucht nodig is bij lage ventilatiedebieten. Effectieve verwijdering van warmte uit de lucht op dierniveau is van groot belang bij hogere binnentemperaturen en hogere ventilatiedebieten, wanneer de ventilatie is gericht op beheersing van de binnentemperatuur.

De proef is uitgevoerd in drie afdelingen voor elk 70 gespeende biggen op het Praktijkcentrum voor innovatie in de varkenshouderij te Sterksel. Er zijn gedurende drie rondes waarnemingen gedaan in de periode januari 2000 tot en met juni 2000.

De drie proefbehandelingen bestonden uit de toepassing van drie verschillende ventilatiesystemen. Eén afdeling was voorzien van grondkanaalventilatie, één afdeling van plafondventilatie met houtwolcement platen met daarop glaswol en één afdeling had deurventilatie. Per afdeling zijn op drie locaties op dierniveau en in de in- en uitgaande lucht CO₂-concentraties gemeten, op basis waarvan VE voor CO₂ berekend kon worden. Daarnaast is op één locatie op dierniveau en in de in- en uitgaande lucht de temperatuur gemeten, op basis waarvan VE voor warmte berekend kon worden.

Het gemiddelde ventilatiedebiet over de drie rondes was bij grondkanaalventilatie 7,9 m³/h per big, bij plafondventilatie 9,2 m³/h per big en bij deurventilatie 8,9 m³/h per big. De gemeten CO₂-concentratie op dierniveau, en daarmee de waarde voor VE was afhankelijk van de locatie van de meetpunten op dierniveau. In figuur 1 is een overzicht gegeven van de drie proefafdelingen en de gemiddelde waarde van VE voor CO₂ op de verschillende meetlocaties voor de drie rondes.

Figuur 1 Overzicht van de proefafdelingen met daarin meetlocaties (●) en de gemiddelde gemeten waarde voor VE voor CO₂ (zwart) en VE voor warmte (grijs)



De waarde van VE hing af van de locatie binnen het hok waar gemeten werd. Bij grondkanaalventilatie is duidelijk dat dichterbij de controlegang VE hoger is dan achter in het hok. Verse lucht komt voor in het hok en achterin het hok is "oudere" lucht. Bij plafondventilatie valt verse lucht naar beneden op plaatsen waar de dieren niet liggen, voor in de afdeling. Achter in de afdeling was de ligplaats van de dieren, waardoor de verse lucht daar niet direct kwam en VE lager is. Bij deurventilatie stroomde, vooral bij hogere ventilatiedebieten, veel lucht door naar achteren in de afdeling. Lucht stroomde over de hokken terug naar voren richting ventilator. Achter in de afdeling was VE dus hoger dan dichterbij de deur. De waarde van VE varieerde in de tijd omdat deze afhankelijk was van het ventilatiedebiet.

De gemiddelde gemeten VE, uitgedrukt in de effectiviteit waarmee CO₂ en warmte uit de omgevingslucht van de dieren verwijderd wordt, was bij grondkanaalventilatie het hoogst.

Summary

The quality of the climate in the Animal Occupied Zone (AOZ) in pig facilities can be expressed in concentrations of pollutants (such as ammonia, dust and bacteria) and in air temperature, humidity and air velocity. Ventilation is to remove pollutants and heat from the AOZ. The distribution of fresh air in the pig facility in combination with the locations of the sources of pollutants and heat determine the distribution of pollutants and excessive heat in the facility. Fresh air distribution is to a great extent determined by the air inlet system. In pig husbandry several air inlet systems are used. Objective of this research was to test a technique for measuring ventilation effectiveness. It was expected that this research would give insight into the effectiveness of the ventilation for different air inlet systems.

In this research the effectiveness of ventilation is expressed as the Ventilation Effectiveness (VE). In a room with perfectly mixed air, VE will have the value of 1. The concentration of pollutants in the outgoing air (ventilation shaft) equals the concentration of pollutants in any place in the room (also in the AOZ). If VE is lower than 1, this indicates a higher concentration of pollutants in the AOZ than in the outgoing air. VE can also have a value higher than 1, indicating effective ventilation because the pollutant concentration in the AOZ is lower than in the outgoing air. VE can be calculated for pollutant concentration, but also for heat.

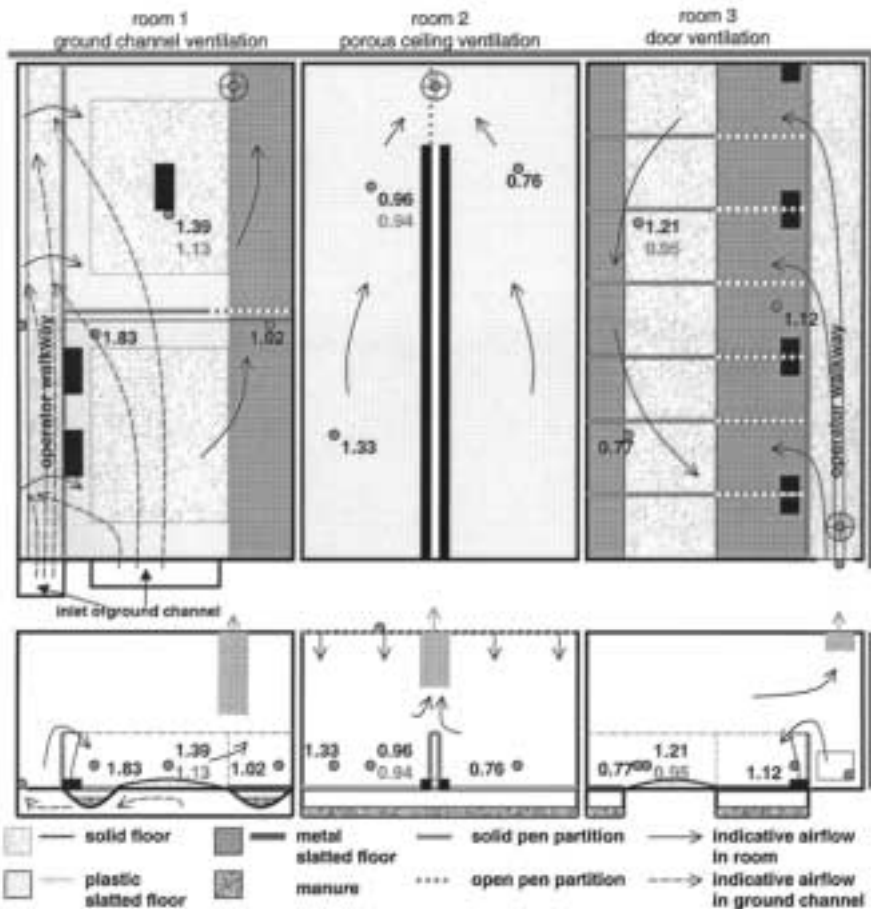
In practice effective removal of pollutants from the AOZ is very important at low ventilation levels, when the heating is on. Effective removal of heat from the AOZ is very important at high ventilation rates, when the ventilation is set to control indoor temperature.

The experiment was carried in three rooms, each for 70 weaned piglets at the experimental farm at Sterksel (The Netherlands). The research comprised three batches from January 2000 till June 2000.

The experimental treatments consisted of the application of three ventilation systems. One room had ground channel ventilation, one room was equipped with porous ceiling ventilation and one room had door ventilation. CO₂ concentrations were measured per room in three places in the AOZ and in the in- and outgoing air, on the basis of which the value of VE for CO₂ was calculated. Also temperatures were measured per room in one place in the AOZ and in the in- and outgoing air, on the basis of which the value of VE for heat was calculated.

The average ventilation amount over the three batches was for ground channel ventilation 7.9 m³/h per piglet, for porous ceiling ventilation 9.2 m³/h per piglet and for door ventilation 8.9 m³/h per piglet. The CO₂ concentrations measured depended to a great extent on the location of the sampling point in the AOZ, resulting in different values for VE per location in the AOZ. The average results over the three batches are shown in figure 1.

Figure 1 Overview of the three experimental rooms with sampling points (●) and the average VE measured for CO₂ (black letters) and temperature (grey letters)



The value of VE depended on the location of the sampling point. In the room with ground channel ventilation VE was higher near the operator walkway than in the back of the pen. Fresh air entered the pen in the front and in the back of the pen there is "older" air. In the room with porous ceiling ventilation fresh air came down at places where no animals were lying, this was in the front of the pen. In the back of the pen the animals choose their lying place, causing the fresh not to fall at those places and resulting in a lower value of VE. In the room with door ventilation at high ventilation rates too much air flowed over the operator walkway to the back of the room. Over the pens the air came back towards the ventilator. In the back of the room the value of VE was higher than in the front of the room. VE varied in time because it depended on the ventilation amount.

The effectiveness of ventilation, expressed in the effectiveness of removal of CO₂ and heat from the AOZ, was for ground channel ventilation the highest of the three ventilation systems tested.

Inhoudsopgave

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Materiaal en methode	3
	2.1 Theoretische achtergrond.....	3
	2.2 Proefafdelingen	4
	2.2.1 Afdeling met grondkanaalventilatie	5
	2.2.2 Afdeling met plafondventilatie	5
	2.2.3 Afdeling met deurventilatie.....	6
	2.2.4 Klimaatregeling.....	6
	2.3 Waarnemingen en verwerking	6
3	Resultaten	11
	3.1 Automatische meetopstelling.....	11
	3.1.1 CO ₂ -concentraties in het microklimaat	11
	3.1.2 Luchttemperatuur op dierniveau.....	13
	3.1.3 Ventilatie-effectiviteit (VE) voor CO ₂ en warmte in de drie afdelingen	14
	3.1.4 De afhankelijkheid van de VE van het ventilatiedebiet en de status van de verwarming	15
	3.2 Handmatige CO ₂ -metingen	16
	3.3 Liggedrag	18
	3.4 Luchtverdeling	19
	3.5 Energiegebruik	20
4	Discussie en conclusies	23
	4.1 Automatische CO ₂ - en temperatuurmetingen.....	23
	4.2 Klimaatinstellingen	23
	4.3 CO ₂ -productie in de afdelingen.....	23
	4.4 De ventilatie-effectiviteit (VE).....	24
	4.5 Energiegebruik	25
	4.6 Betekenis voor de praktijk.....	25
	4.7 Conclusies	26
	Literatuur	27

Bijlagen	29
Bijlage 1: Gemiddelde productieresultaten in de drie afdelingen gedurende de drie ronden	29
Bijlage 2: Karakteristieke gegevens van de verzamelde data met de automatische opstelling.....	30
Bijlage 3: Basisinstellingen op basis van VE = 1 (Klimaatplatform, 1999) en berekende instellingen bij effectiever en minder effectief ventileren.....	31
Reeds eerder verschenen proefverslagen	32

1 Inleiding

De kwaliteit van het stalklimaat op dierniveau kan uitgedrukt worden in de concentraties van vervuulende stoffen zoals ammoniak en stof en in de luchttemperatuur, luchtvochtigheid en luchtsnelheid op dierniveau. Hoge concentraties of hoge temperaturen kunnen een negatief effect hebben op diergezondheid en productie (Stombauch et al., 1969; Andreassen et al., 1999; Prunier et al., 1997; Nienhaber et al., 1996). Te lage luchttemperaturen en/of te hoge luchtsnelheden (tocht) hebben een negatief effect op de gezondheid en de productie, in het bijzonder voor gespeende biggen (Scheepens et al., 1991a; Scheepens et al., 1991b). Klimaatfactoren hebben tevens invloed op het dierenwelzijn (Bockisch et al., 1999).

In een stal komen vervuulende stoffen vrij van onder andere de dieren, het voer, de vloer en de mest. Ventilatie heeft tot taak deze vervuulende stoffen en warmte uit de leefomgeving van de dieren af te voeren. Hierdoor kan op dierniveau het gewenste klimaat gehandhaafd worden. De luchtverdeling in de stal is bepalend voor de hoeveelheid luchtverversing die op dierniveau plaatsvindt ten gevolge van de ventilatie van de afdeling. De luchtverdeling in de stal wordt in belangrijke mate beïnvloed door het soort luchtaanvoersysteem.

Er zijn verschillende methoden om inzicht te krijgen in de luchtverdeling in stallen. Harral en Boon (1997) en Bjerg et al. (1999) gebruikten wiskundige modellen om luchtverdeling en luchtstroming in een gesloten ruimte te simuleren. Het blijkt goed mogelijk om de luchtstroming in een lege ruimte zonder obstakels met behulp van deze modellen te simuleren. Voor een complexe omgeving zoals een stal is dit echter nog niet op een betrouwbare manier mogelijk. Zo heeft de aanwezigheid van dieren en de activiteit van de dieren een belangrijke invloed op de verdeling van lucht in de stal, en daarmee ook op de verdeling van vervuulende stoffen (Smith et al., 1999). Praktijkmetingen tonen aan dat het ontwerp van het ventilatiesysteem en de locaties van de luchtinlaat en de luchtuitlaat ook een belangrijk effect hebben op de luchtverdeling en de verdeling van vervuulende stoffen. Breum et al. (1989) gebruikten een tracergas-techniek om in een industrieel gebouw de prestaties van twee ventilatiesystemen te vergelijken. Deze twee systemen waren verdringingsventilatie (vergelijkbaar met grondkanaalventilatie en deurventilatie) en ventilatie gebaseerd op perfect mixen van de lucht (vergelijkbaar met plafondventilatie). De aanvoer van verse lucht naar de werkzone in het gebouw bleek bij verdringingsventilatie het beste te zijn. In een ander onderzoek beschrijven Breum et al. (1990) twee ventilatiesystemen in varkensstallen, beide met een directe luchtinlaat via de zijmuur. Eén systeem was voorzien van een luchtuitlaat in de nok en één van een luchtuitlaat onder de roosters. Bij het systeem met de luchtuitlaat in de nok, wat een opwaartse luchtstroom tot gevolg had, bleek dat vervuulende stoffen effectiever verwijderd werden uit de stal.

Naast de luchtverdeling en alle factoren die daarop invloed uitoefenen, hebben ook de locaties van de bronnen van vervuulende stoffen in de stal een belangrijke invloed op de concentratieverdeling in de stal. Lavoie et al. (1997) hebben in een afdeling boven de centraal gelegen controlegang concentraties CO_2 en NH_3 gemeten. Door toepassing van onderafzuiging, waarbij de bronnen van deze stoffen dicht bij de luchtuitlaat gesitueerd waren, bleek dat de concentraties boven het controlepad significant lager werden in vergelijking met bovenafzuiging.

Aarnink en Wagemans (1997) onderzochten een aangepast ventilatiesysteem: grondkanaalventilatie in combinatie met onderafzuiging, en vergeleken dit met een systeem van plafondventilatie

met bovenafzuiging. Zij concludeerden dat de luchtkwaliteit op dierniveau (NH_3 - en stofconcentraties) kan worden verbeterd door toepassing van het aangepaste ventilatiesysteem.

Uit de verschillende onderzoeken blijkt dat het ontwerp van het luchtaanvoersysteem en ook de aanwezigheid van dieren een belangrijke invloed hebben op de luchtverdeling in de stal. In combinatie met de locaties van de bronnen van vervuilende stoffen bepaalt de luchtverdeling de verdeling van vervuilende stoffen in de ruimte.

In de varkenshouderij zijn verschillende ventilatiesystemen gebruikelijk, met hoge of verlaagde luchtinlaatsystemen en met boven- of onderafzuiging. Er is nog weinig bekend over de relatie tussen de ventilatie in de gehele afdeling en de luchtverversing op dierniveau. Doel van dit onderzoek is het testen van een meetopstelling om de luchtkwaliteit op dierniveau te meten. Dit wordt gedaan in drie afdelingen voor gespeende biggen met drie verschillende ventilatiesystemen: grondkanaalventilatie, plafondventilatie en deurventilatie. De verwachting is inzicht te krijgen in de effectiviteit van de ventilatie bij de verschillende systemen. Luchtsnelheid op dierniveau wordt in dit onderzoek niet gemeten.

2 Materiaal en methode

2.1 Theoretische achtergrond

De effectiviteit van ventilatie wordt in dit onderzoek uitgedrukt in de Contaminant Removal Effectiveness (CRE) of ventilatie-effectiviteit (VE). Puntmetingen van concentraties van vervuilende stoffen die vrijkomen in een varkensstal kunnen worden gebruikt om de waarde van VE op de locatie van de puntmeting te berekenen. Hierbij geldt de definitie (Liddament, 1993) zoals weer-gegeven in formule 1.

Formule 1:
$$VE_{x,p,t} = \frac{C_{x,uit,t} - C_{x,in,t}}{C_{x,p,t} - C_{x,in,t}}$$

$VE_{x,p,t}$ = vervuiling- verwijdering- effectiviteit (ventilatie-effectiviteit) op punt p in de ruimte op moment t voor vervuilende stof x [-]
 $C_{x,uit,t}$ = concentratie van ongewenste stof x in de uitgaande lucht op moment t [mg/m³]
 $C_{x,in,t}$ = concentratie van ongewenste stof x in de ingaande lucht op moment t [mg/m³]
 $C_{x,p,t}$ = concentratie van ongewenste stof x op punt p in de ruimte op moment t [mg/m³]

In dit onderzoek is punt p een punt op dierniveau.

In een perfect gemengde ruimte zal de waarde voor VE gelijk zijn aan 1. De concentratie van vervuilende stoffen in de uitgaande lucht is dan gelijk aan de concentratie van vervuilende stoffen op punt p. Maar in de praktijk zullen in alle geventileerde ruimten concentratiegradiënten van vervuilende stoffen aanwezig zijn (Price et al., 1999).

Wanneer de waarde van VE lager is dan 1, is de concentratie vervuilende stoffen in de luchtuitlaat lager dan op dierniveau. Dit kan veroorzaakt worden door kortsluiting van lucht, waarbij een deel van de verse lucht direct weer afgevoerd wordt zonder voor luchtverversing op dierniveau te zorgen. Wanneer VE hoger is dan 1 is er sprake van effectieve ventilatie en is de concentratie vervuilende stoffen op dierniveau lager dan in de luchtuitlaat.

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van CO₂ als indicator voor 'ongewenste stof'. Ook zijn de temperaturen van de ingaande lucht, de uitgaande lucht en de lucht op dierniveau geregistreerd en gebruikt om met formule 1 de VE voor warmte te berekenen (warmte als 'ongewenste stof'). In de praktijk is een effectieve verwijdering van vervuilende stoffen (zoals CO₂) uit de lucht op dierniveau zeer belangrijk wanneer verwarming van de lucht noodzakelijk is (lage ventilatiedebieten). Een effectievere ventilatie leidt tot een betere luchtkwaliteit op dierniveau of tot een lager benodigde minimale ventilatie en daarmee tot een lager energiegebruik voor verwarming. Effectieve verwijdering van warmte uit de lucht op dierniveau is van belang bij binnentemperaturen die hoger zijn dan gewenst (bij hogere ventilatiedebieten). De ventilatie is dan vooral gericht op beheersing van de binnentemperatuur. Bij effectievere ventilatie kan de temperatuur op dierniveau beter beheerst worden met minder luchtverplaatsing.

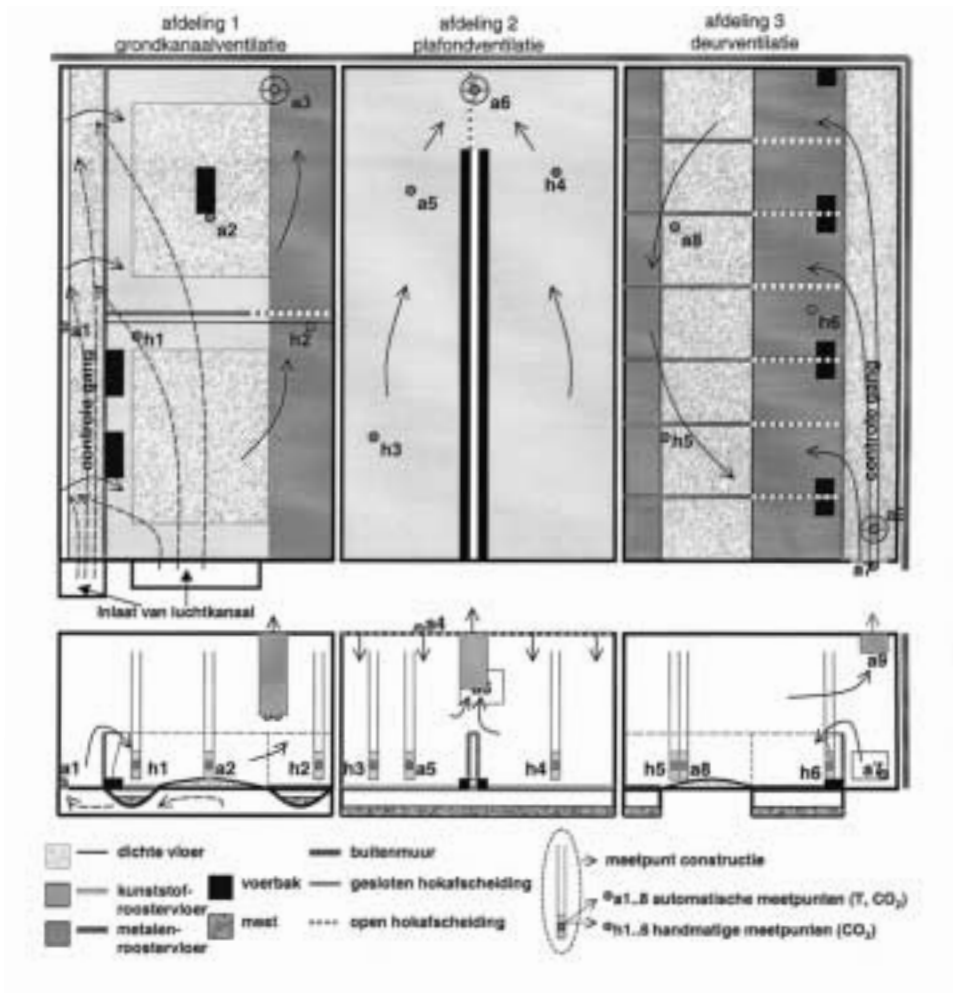
Het is zeer goed mogelijk ook andere stoffen te gebruiken voor het kwantificeren van de effecti-

viteit van de ventilatie, bijvoorbeeld NH₃, stofdeeltjes en bacteriën. In dit onderzoek is niet voor deze stoffen gekozen. Bij NH₃ is het lastig om een nauwkeurige concentratiebepaling van de inlaatlucht te verkrijgen en voor de bepaling van de concentratie stofdeeltjes of bacteriën is het lastig om meerdere keren per uur een meetresultaat te verkrijgen. Door gebruik te maken van CO₂-concentraties als indicator voor de luchtkwaliteit zijn deze problemen te ondervangen.

2.2 Proefafdelingen

De proef is uitgevoerd in drie naast elkaar gelegen afdelingen voor gespeende biggen op het Praktijkcentrum voor innovatie in de varkenshouderij te Sterksel. Er zijn gedurende drie ronden waarnemingen gedaan in de periode januari 2000 tot en met juni 2000. In figuur 2 is van de drie afdelingen een bovenaanzicht en een dwarsdoorsnede weergegeven, in de paragrafen 2.2.1 tot en met 2.2.3 worden de afdelingen beschreven.

Figuur 2 Boven-aanzicht en dwarsdoorsnede van de drie proefafdelingen



2.2.1 Afdeling met grondkanaalventilatie

De afdeling met grondkanaalventilatie bestond uit twee hokken met elk 35 dierplaatsen. De hokken waren

3,65 m breed en 3,30 meter diep ($0,34 \text{ m}^2/\text{dier}$). In het midden van het hok was een stuk dichte vloer voorzien van vloerverwarming ($0,17 \text{ m}^2/\text{dier}$), rondom de dichte vloer lag een roostervloer ($0,13 \text{ m}^2/\text{dier}$). Vóór in het hok en aan de zijkanten lag een kunststof roostervloer en achterin een mestkanaal van 0,75 m breed met metalen driekantrooster. De inhoud van de afdeling was $1,1 \text{ m}^3$ per big.

In het voorste hok werden de dieren gevoerd via twee droogvoerbakken met elk twee vreetplaatsen en een geïntegreerd drinkbakje aan de zijde van de voergang. In het achterste hok was een buisvoerbak op het midden van de dichte vloer geplaatst.

De hokafscheiding was dicht uitgevoerd en 0,65 m hoog. Boven het metalen driekantrooster achterin was tussen de twee hokken een hekwerk als hokafscheiding aanwezig (1,10 m lang).

De verse lucht kwam via de centrale gang, die op minimaal 5°C werd gehouden, in een luchtkanaal onder de afdeling. De luchtopeningen in de vloer van de centrale gang waren afgedekt met metalen driekantroosters. De afmeting van de opening vóór de afdelingsdeur was 0,53 m bij 0,75 m, de andere opening was 0,30 m bij 2,00 m (voor beide openingen is dit bij maximale ventilatie $0,2 \text{ cm}^2$ per m^3/h ventilatie, of een luchtsnelheid van 0,5 m/s). Van onder de dichte vloer kon de lucht onder het voorste waterkanaal door naar de ruimte onder de controlegang stromen, vanwaar de lucht de afdeling in ging via een spleet in de vloer van het controlepad (0,06 m breed) over de gehele diepte van de afdeling (bij maximale ventilatie is dit $0,4 \text{ cm}^2$ per m^3/h ventilatie, of een luchtsnelheid van 1,1 m/s).

De lucht werd afgevoerd uit de afdeling met behulp van een ventilator (inwendige kokerdiameter 0,35 m) die aan de rechterzijde achter in de afdeling aanwezig was (0,05 m verwijderd van de achterste muur en 0,70 m verwijderd van de zijmuur).

De temperatuurvoeler die was aangesloten op de klimaatregelaar hing op 1,70 m hoogte boven de hokafscheiding tussen het voorste hok en het achterste hok. Er waren zes verwarmingsbuizen met een buitendiameter van 35 mm. Deze waren geplaatst boven de luchtinlaatspleet in de controlegang over de volledige diepte van de afdeling.

2.2.2 Afdeling met plafondventilatie

De afdeling met plafondventilatie bestond eveneens uit twee hokken met elk 35 dierplaatsen. De afmetingen van de hokken waren 1,75 m breed en 7,30 meter diep ($0,37 \text{ m}^2/\text{dier}$). De vloer bestond uit kunststof roosters. De inhoud van de afdeling was $1,1 \text{ m}^0$ per big.

Het voersysteem, waarbij de dieren gelijktijdig meerdere malen per dag gedoseerd voer verstrekt kregen, vormde de hokafscheiding tussen de twee hokken. In beide hokken waren lange troggen aanwezig (6,40 m bij 0,14 m). De achterste 0,90 m van de hokafscheiding was uitgevoerd met een open hekwerk.

De verse lucht kwam direct van buiten in de ruimte boven het plafond. De onderzijde van het dak was geïsoleerd. Het plafond bestond uit houtvezelcementplaten met daarop één laag glaswol van 0,04 m dikte. De lucht werd afgevoerd uit de afdeling met behulp van een ventilator (inwendige kokerdiameter 0,40 m) die in het midden achter in de afdeling aanwezig was (0,05 m verwijderd van de achterwand).

De temperatuurvoeler die was aangesloten op de klimaatregelaar hing op 1,60 m hoogte boven de hokafscheiding tussen het rechtse hok en het linkse hok. Voor de afdelingsverwarming waren er zes deltabuizen in de afdeling aanwezig, 0,3 m onder het plafond.

2.2.3 Afdeling met deurventilatie

In de afdeling met deurventilatie waren zeven hokken met elk tien dierplaatsen. De afmetingen van de hokken waren 1,00 m breed en 3,00 meter diep (0,30 m²/dier). Voor in het hok lag een breed mestkanaal (1,30 m) met metalen driekantroosters, in het midden een dichte bolle vloer met vloerverwarming (1,4 m - 0,14 m²/dier). Achter in de hokken lag een smal mestkanaal van 0,30 m met metalen driekantroosters. De inhoud van de afdeling was 1,1 m³ per big. Vóór in de hokken was per hok een brijbak geplaatst. De hokafscheiding was dicht uitgevoerd en 0,60 m hoog, behalve boven het rooster vóórin, waar een hekwerk als hokafscheiding aanwezig was.

De verse lucht kwam via de centrale gang, die op minimaal 5°C werd gehouden, door een opening in de deur (0,37 m x 0,67 m) de afdeling binnen (bij maximale ventilatie is dit 0,7 cm² per m³/h ventilatie, of een lichtsnelheid van 2,0 m/s). De lucht werd afgevoerd uit de afdeling met behulp van een ventilator (inwendige kokerdiameter 0,35 m) die in het plafond op 2,25 m hoogte direct achter de deur was geplaatst (0,25 m vanaf de zijmuur en 0,35 m vanaf de voorste muur). De temperatuurvoeler die was aangesloten op de klimaatregelaar hing op 1,55 m hoogte boven de hokafscheiding tussen het vierde en het vijfde hok. Voor de afdelingsverwarming waren vier verwarmingsbuizen aanwezig tegen de muur in de controlegang.

2.2.4 Klimaatregeling

In de drie afdelingen was de ventilatiekoker voorzien van een automatische regelklep en een meetwaaier, waarmee het luchtdebiet continu gemeten en geregeld kon worden (afwijking < 50 m³/h). Het ventilatiedebiet werd geregeld volgens een curve (zie tabel 1) met behulp van een klimaatregelaar, op basis van de gemeten afdelingstemperatuur. De ruimteverwarming werd automatisch geregeld met behulp van de klimaatregelaar. Ruimteverwarming was aanwezig in de vorm van verwarmingsbuizen waar heet water (80°C gedurende ronde 1 en 2, 50°C gedurende ronde 3; geldt voor alle drie de afdelingen) doorheen kon stromen. De vloerverwarming werd handmatig geregeld (aan/uit) en was ingesteld op een watertemperatuur van 45°C.

De klimaatinstellingen in de drie afdelingen waren niet gelijk. Deels werd dit veroorzaakt door de afwezigheid van vloerverwarming in de afdeling met plafondventilatie, waardoor in die afdeling de temperatuurinstelling op dag nummer 5 een graad hoger was. Ook waren de instellingen voor minimum- en maximumventilatie bij plafondventilatie hoger. Op basis van praktijkervaringen werden de verschillende klimaatinstellingen noodzakelijk geacht voor een goed functioneren van de afdelingen. In de discussie (hoofdstuk 4) komt dit terug.

2.3 Waarnemingen en verwerking

CO₂-concentraties

Op de locaties die zijn weergegeven in figuur 2 waren meetpunten aangebracht. Per afdeling was er één meetpunt in de luchtinlaat, één meetpunt in de luchtuitlaat en waren er drie meetpunten op dierniveau.

Tabel 1 Gehanteerde klimaatinstellingen in de drie proefafdelingen (neutrale zone is 2 graden)

	dagnummer	vloer- verwarming	setpoint ventilatie (°C)	ventilatie per dier (m ³ /h)	
				min.	max.
grondkanaalventilatie	0	aan	28	3	12
	5	aan	25	4	15
	20	uit ²	24	6	18
	42	uit	22	9	25 ¹
plafondventilatie	0	N.A. ³	28	4	13
	5	N.A.	26	5	16
	20	N.A.	24	7	25
	42	N.A.	22	11	35
deurventilatie	0	aan	28	3	12
	5	aan	25	4	15
	20	uit ²	24	6	18
	42	uit	22	9	25

¹ in de derde ronde was de maximum ventilatie 33 m³/h per dier

² vloerverwarming was uit vanaf dag 17

³ N.A. = niet aanwezig

De meetpunten in de luchtinlaat en luchtuitlaat en één meetpunt op dierniveau werden automatisch bemonsterd. De meetpunten op dierniveau bestonden uit een geperforeerde stalen pijp (figuur 3), waarbinnen via een teflon slang lucht aangezogen kon worden.

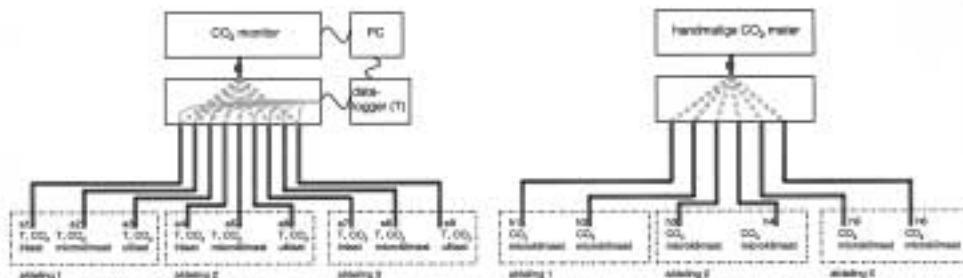
De concentratie CO₂ op de automatisch bemonsterde meetpunten werd bepaald met behulp van een gasmonitor (B&K) (afwijking < 5 mg/m³). De bepaling van de CO₂-concentratie duurde ongeveer 4 minuten. Er waren negen meetpunten, elke 36 minuten werd dus elk punt bemonsterd. De meetpunten werden bemonsterd op de volgorde zoals ze in figuur 4 zijn genummerd.

Figuur 3 Meetpunt op dierniveau in het achterste hok in de afdeling met grondkanaalventilatie



Naast de automatische meetpunten waren er per afdeling een tweetal handmatig bemonsterde meetpunten op dierniveau (CO₂-meter: Anagas 98) (afwijking < 100 mg/m³). De handmatige metingen werden in het begin van de ronde tweemaal daags uitgevoerd. Na vier dagen werden de metingen dagelijks uitgevoerd met uitzondering van dagen die in het weekend vielen. Een schematisch overzicht van de handmatige meetopstelling is weergegeven in figuur 4.

Figuur 4 Schematische weergave van automatische en handmatige meetopstelling



De met behulp van de automatische meetopstelling gemeten CO₂-concentraties in het microklimaat zijn vergeleken met de normen die gelden voor maximale CO₂-concentraties in stallen.

Temperaturen

Op de meetpunten van de automatische meetopstelling waren thermokoppels (afwijking $< 0,1^{\circ}\text{C}$) gemonteerd voor het meten van de luchttemperatuur ter plekke. De gemeten temperatuur werd samen met elke CO_2 -concentratiemeting met behulp van een PC geregistreerd (figuur 4).

Ventilatiedebiet

Met behulp van de meetwaaier (afwijking $< 50\text{m}^3/\text{h}$), die onderdeel uitmaakte van de klimaatregel-installatie in de proefafdelingen, werd continu het ventilatiedebiet gemeten. Elke tien minuten is het ventilatiedebiet geregistreerd met behulp van een computer die aangesloten was op de klimaatregelaar.

Energiegebruik

Het energiegebruik voor ventilatie in de drie proefafdelingen is gemeten met behulp van elektronische kWh-meters.

De klimaatregelaars van de proefafdelingen werden gebruikt voor twee afdelingen. Om toch het energiegebruik per afdeling bij te kunnen houden waren de kWh-meters gemonteerd tussen de klimaatregelaar en de ventilator, waar in veel gevallen de spanning lager is dan 220 Volt. Hierdoor kunnen de elektronische kWh-meters een afwijking geven. Ter controle van de elektronische meting was vóór de klimaatregelaar die het klimaat van zowel de afdeling met plafondventilatie als van de afdeling met deurventilatie regelde, een analoge kWh-meter aangebracht die het energiegebruik van de ventilatoren in de twee afdelingen inclusief de klimaatregelaar bijhield (referentiemeting).

Het energiegebruik van de verwarming is in de drie proefafdelingen gemeten met behulp van elektronische energiemeters (één meter voor zowel ruimte- als vloerverwarming). Gedurende de eerste ronde en de eerste helft van de tweede ronde zijn wekelijks de standen van de elektronische kWh- en energiemeters handmatig geregistreerd. Gedurende de tweede helft van de tweede ronde en gedurende de derde ronde zijn de standen van deze meters automatisch geregistreerd met behulp van een datalogger. De resultaten van de waarnemingen aan het energiegebruik zijn omgerekend in energiegebruikcijfers per dierplaats per jaar.

Verwerking van gegevens ten behoeve van de bepaling van de ventilatie-effectiviteit (VE)

Met behulp van formule 1 en de resultaten van de CO_2 -metingen en de temperatuurmetingen zijn voor ongeveer elke 36 minuten de VE voor CO_2 en voor warmte berekend. Hierbij is gebruik gemaakt van de gemeten concentratie en temperatuur op tijdstip 't minus 4 minuten' in de inlaatlucht, de gemeten concentratie en temperatuur op tijdstip t in het microklimaat en de gemeten concentratie en temperatuur op tijdstip 't plus 4 minuten' in de uitgaande lucht. Het geregistreeerde ventilatiedebiet dat het dichtst bij tijdstip t was vastgelegd is aan de dataset toegevoegd, net zoals de status van de verwarming op dat moment (tweede helft van tweede ronde en derde ronde). De invloed van het ventilatiedebiet en de status van de verwarming op de waarde van VE is onderzocht.

Luchtverdeling

Wekelijks is met behulp van rookproeven de luchtverdeling in de afdeling inzichtelijk gemaakt en is de waargenomen luchtverdeling in schetsen vastgelegd. Hierbij werd het actuele ventilatiedebiet geregistreerd.

Liggedrag

Wekelijks is het liggedrag van de dieren vastgelegd in schetsen. Het aantal dieren in de directe omgeving van de meetpunten (binnen een straal van 1 meter) kon afgeleid worden uit deze schetsen.

Productieresultaten

De productieresultaten van de biggen (groei, voerconversie) zijn berekend met behulp van gegevens uit het managementsysteem van het Praktijkcentrum voor innovatie in de varkenshouderij te Sterksel. Deze gegevens zijn niet statistisch geanalyseerd, maar dienen slechts als achtergrondinformatie bij dit onderzoek.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk zullen als eerste de resultaten van de automatische meetopstelling worden gepresenteerd. Vervolgens worden de resultaten van de handmatige CO₂-concentratiemetingen en van de overige waarnemingen weergegeven. De resultaten worden in veel gevallen per ronde gepresenteerd. De aanvang van een ronde was de dag ná de opleg van de dieren en het einde van de ronde was de dag dat de eerste dieren uit de afdeling werden afgevoerd.

In bijlage 1 zijn gemiddelde productieresultaten over de drie ronden weergegeven. Deze gegevens dienen als achtergrondinformatie bij de hieronder weergegeven resultaten en worden verder niet behandeld.

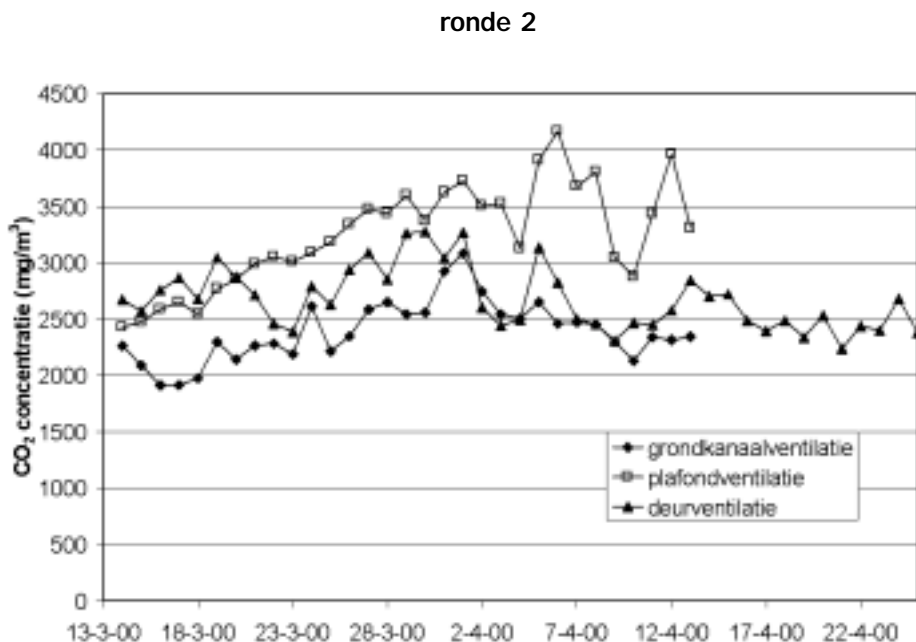
3.1 Automatische meetopstelling

In bijlage 2 zijn in een overzicht enkele gegevens van de verzamelde data weergegeven.

3.1.1 CO₂-concentraties in het microklimaat

In figuur 5 is het daggemiddelde van de gemeten CO₂-concentratie op de automatische meetpunten gedurende de tweede ronde weergegeven.

Figuur 5 Verloop van het daggemiddelde van de CO₂-concentratie op dierniveau in de drie proefafdelingen op de automatische meetpunten



In de afdeling met deurventilatie duurden de waarnemingen tien dagen langer omdat uit deze afdeling niet vroegtijdig enkele zware biggen afgeleverd waren. De CO₂-concentratie in de afdeling met plafondventilatie liep gedurende de ronde op.

In tabel 2 staan de gemiddelde CO₂-concentraties op dierniveau voor de drie ronden weergegeven inclusief het gemiddeld ventilatiedebiet over de drie ronden.

Tabel 2 Gemiddelde CO₂-concentratie (mg/m³) op dierniveau gemeten met behulp van de automatische meetopstelling en gemiddeld ventilatiedebiet per dier (m³/h)

ronde	grondkanaalventilatie		plafondventilatie		deurventilatie	
	CO ₂ -conc.	ventilatie	CO ₂ -conc.	ventilatie	CO ₂ -conc.	ventilatie
1	2.534	5,7	3.126	6,3	3.186	5,4
2	2.405	5,7	3.276	7,1	2.664	8,8
3	2.307	11,2	2.657	12,6	2.466	11,8
gemiddeld	2.408	7,9	2.974	9,2	2.729	8,9

Een veel gehanteerde norm voor wat betreft de maximale CO₂-concentratie is 0,2 - 0,3 volume % (Werkgroep klimaatsnormen, 1989). Dit komt overeen met ongeveer 3.600 - 5.500 mg/m³. In tabel 3 staat het aantal overschrijdingen van deze norm op dierniveau weergegeven.

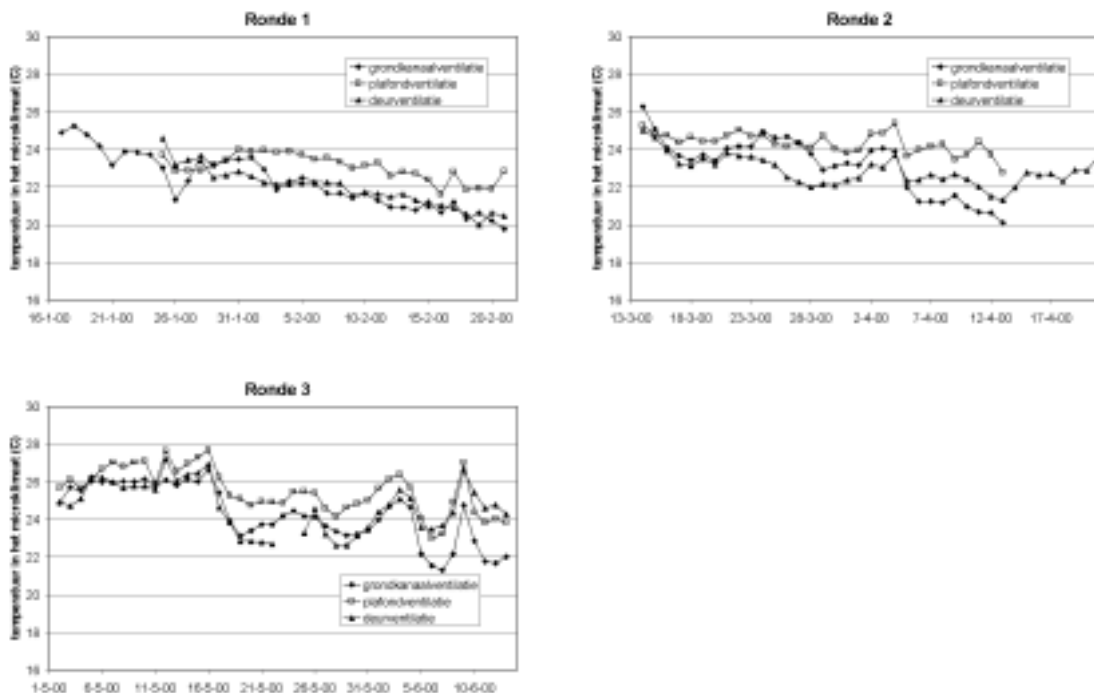
Tabel 3 Aantal overschrijdingen van de norm voor maximale CO₂-concentratie op dierniveau gemeten met behulp van de automatische meetopstelling, en totale duur van de overschrijding

	grondkanaalventilatie		plafondventilatie		deurventilatie	
	aantal waarn.	%-tijd	aantal waarn.	%-tijd	aantal waarn.	%-tijd
ronde 1 totaal	885	-	733	-	724	-
> 0,2 vol.%	52	5,8%	157	21,4%	91	12,5%
> 0,3 vol.%	3	0,3%	5	0,7%	1	0,1%
ronde 2 totaal	741	-	762	-	1.067	-
> 0,2 vol.%	15	2,0%	201	26,4%	34	3%
> 0,3 vol.%	2	0,3%	15	2,0%	2	0,2%
ronde 3 totaal	1.074	-	1.081	-	998	-
> 0,2 vol.%	52	4,8%	121	11,2%	51	5,1%
> 0,3 vol.%	8	0,7%	4	0,4%	2	0,2%

3.1.2 Luchttemperatuur op dierniveau

In figuur 6 is het daggemiddelde van de gemeten temperatuur op dierniveau in de drie afdelingen weergegeven gedurende de drie rondes.

Figuur 6 Verloop van het daggemiddelde van de temperatuur op dierniveau gedurende de drie rondes gemeten met behulp van de automatische meetopstelling

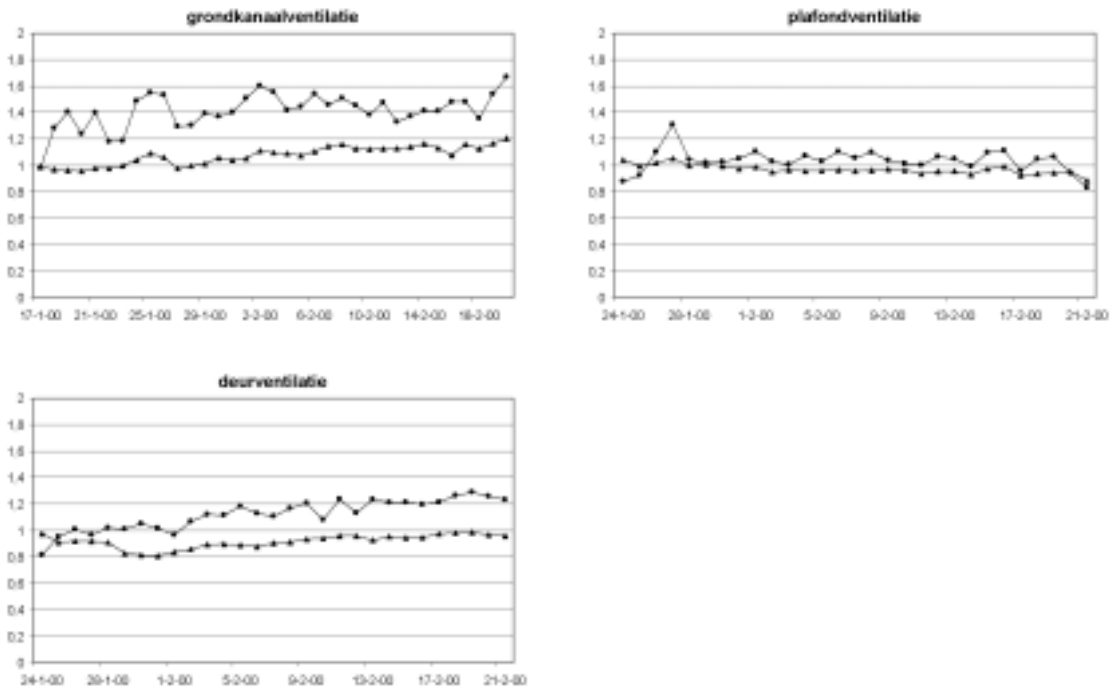


Uit figuur 6 kan worden afgelezen dat aan het begin van een ronde de temperatuur op dierniveau in de drie afdelingen vergelijkbaar was. Bij ronde 1 en 2 werd de ingestelde temperatuur van minimaal 26 graden bij opleg (tabel 1) op dierniveau in géén van de drie afdelingen gehaald.

3.1.3 Ventilatie-effectiviteit (VE) voor CO₂ en warmte in de drie afdelingen

In figuur 7 staat het verloop van het daggemiddelde van de ventilatie-effectiviteit (VE) voor zowel CO₂ als voor warmte gedurende de eerste ronde weergegeven.

Figuur 7 Verloop van de VE voor CO₂ (h) en VE voor warmte (s) gedurende de eerste ronde



In figuur 7 is te zien dat de VE voor CO₂ en voor warmte niet gelijk zijn aan elkaar, vooral niet bij grondkanaalventilatie en bij deurventilatie. Bij deze systemen is de VE voor CO₂ in veel gevallen hoger dan die voor warmte. De heterogeniteit van de stallucht voor wat betreft CO₂ is dus anders dan die voor warmte. In tabel 4 zijn de gemiddelde waarden van de VE weergegeven voor de drie ronden.

Tabel 4 Gemiddelde VE gedurende de drie rondes gebaseerd op de automatisch gemeten CO₂ concentratie (VE CO₂) en warmte (VE T)

ronde	grondkanaalventilatie (a2)		plafondventilatie (a5)		deurventilatie (a8)	
	VE CO ₂	VE T	VE CO ₂	VE T	VE CO ₂	VE T
1	1,41	1,08	1,04	0,97	1,12	0,92
2	1,46	1,16	0,99	0,93	1,22	0,96
3	1,29	1,16	0,99	0,93	1,26	0,96
gemiddeld	1,39	1,13	1,01	0,94	1,20	0,95

3.1.4 De afhankelijkheid van de VE van het ventilatiedebiet en de status van de verwarming

Hoe de VE afhangt van het ventilatiedebiet en de status van de verwarming is weergegeven in figuur 8. In de figuur zijn gegevens weergegeven die zijn verzameld gedurende de tweede helft van de tweede ronde en gedurende de derde ronde (daarvoor was er slechts wekelijkse handmatige uitlezing van het energiegebruik beschikbaar, en dus geen informatie over de status van de verwarming op een willekeurig moment).

De trendlijnen zijn bepaald met behulp van de kleinste kwadratenmethode en geven de afhankelijkheid van de waarde van VE van het ventilatiedebiet weer. De zwarte lijn is gebaseerd op de situatie met de afdelingsverwarming aan, de grijze lijn is gebaseerd op de situatie met de afdelingsverwarming uit.

In figuur 8 is te zien dat bij grondkanaalventilatie de VE afneemt bij een toenemende ventilatie. Dit kan verklaard worden door de hogere snelheid van de inlaatlucht in de spleet in de controlegang. Ten gevolge van de hogere snelheid daar zal er meer lucht direct doorstromen naar boven in de afdeling, waardoor deze lucht niet voor luchtverversing zorgt op dierniveau.

Ook bij plafondventilatie neemt de VE af bij een toenemende ventilatie. Een groter aandeel van de binnenkomende lucht gaat direct via de ventilator naar buiten zonder op dierniveau voor luchtverversing te zorgen.

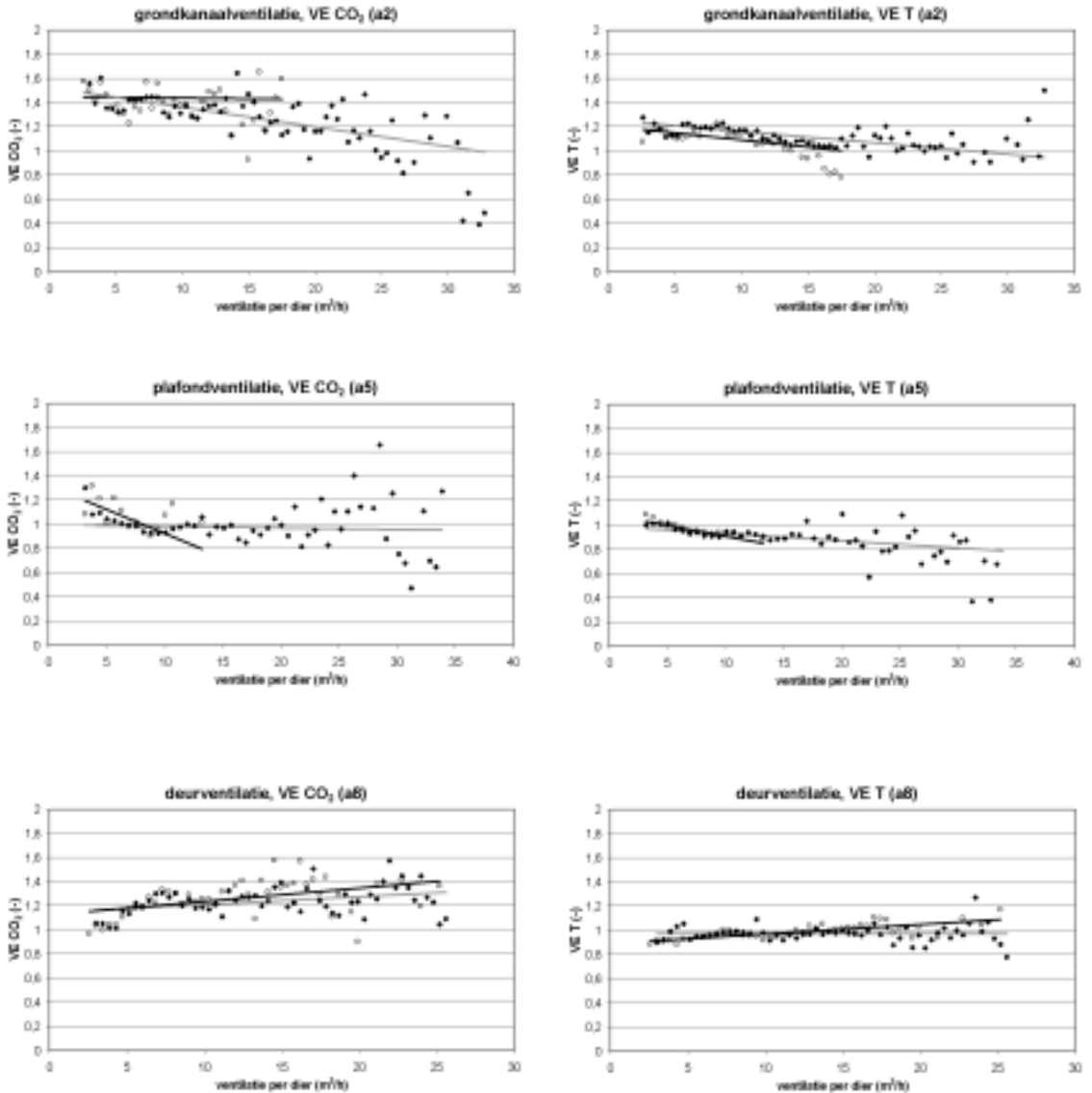
Bij deurventilatie neemt de VE op het automatisch bemonsterde meetpunt toe bij een toenemende ventilatie. Dit kan worden verklaard doordat bij een toenemende ventilatie meer lucht achter in de afdeling terecht komt, omdat de luchtsnelheid op de controlegang hoger wordt. Er komt dan minder lucht vóór in de afdeling.

De invloed van de status van de verwarming op de waarde van de VE is niet duidelijk af te leiden uit figuur 8.

3.2 Handmatige CO₂-metingen

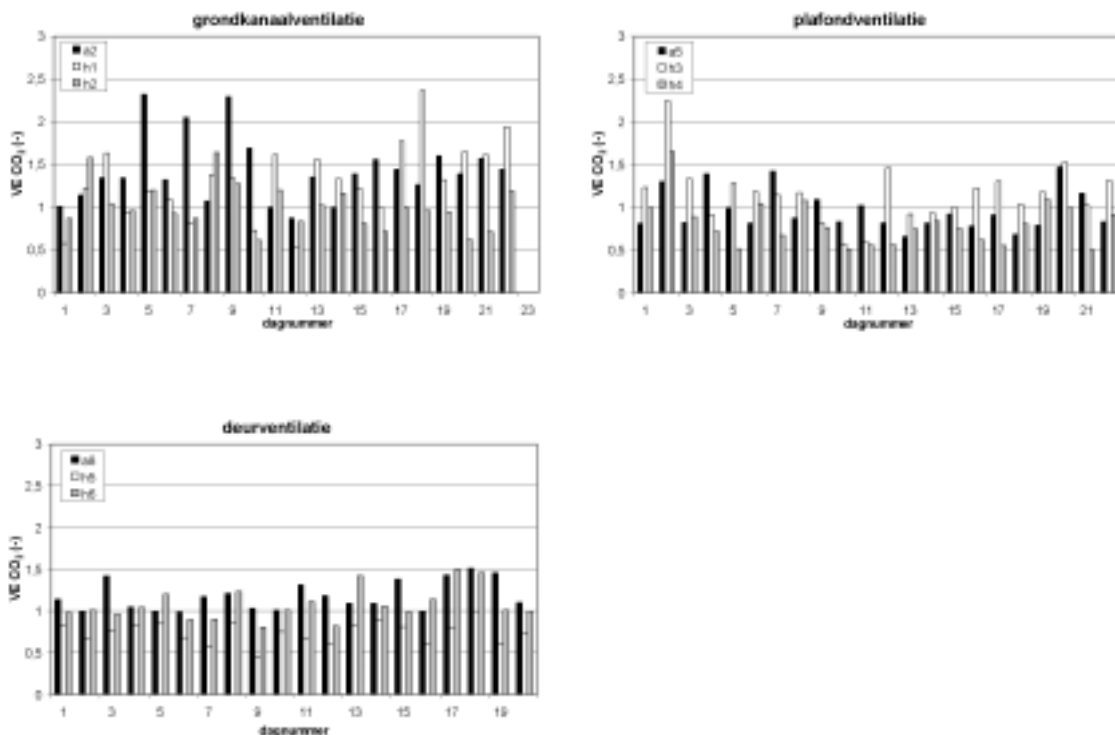
In de voorgaande paragraaf zijn de resultaten van de automatische meting beschreven. De resultaten van de minder frequent uitgevoerde handmatige CO₂-concentratie metingen op meerder locaties op dierniveau worden in deze paragraaf beschreven (voor locaties van de meetpunten zie figuur 2).

Figuur 8 Variatie in VE CO₂ en VE warmte op automatisch meetpunt als functie van het ventilatiedebiet en de status van de verwarming (u = verwarming uit, O = verwarming aan, æ = trendlijn verwarming uit, æ = trendlijn verwarming aan)



Om inzicht te geven in de meetresultaten zijn in figuur 9 de resultaten van een aantal waarnemingen van de eerste ronde opgenomen. Vergeleken zijn de VE voor CO₂ voor de drie meetlocaties in de afdelingen. Meetgegevens uit de handmatige meting op een bepaald tijdstip worden vergeleken met meetgegevens van de automatisch opstelling op datzelfde tijdstip.

Figuur 9 Resultaten voor de VE voor CO₂ gebaseerd op de handmatige metingen gedurende ronde 2



Uit figuur 9 kan worden afgelezen dat er verschillen zijn tussen de berekende VE CO₂ op de verschillende plaatsen op dierniveau. Dit wordt veroorzaakt door verschillen in CO₂-concentratie op het dierniveau. Bij grondkanaalventilatie geeft h1 een iets hogere waarde voor VE CO₂ dan a2; h2 is over het algemeen het laagst. Er zijn echter een paar uitschieters. Bij plafondventilatie lijkt h3 over het algemeen de hoogste waarde voor VE te geven en h4 de laagste. Bij deurventilatie zijn de verschillen kleiner.

In tabel 5 zijn gemiddelde waarden gegeven voor de VE op de verschillende plaatsen gedurende de drie ronden. De waarden van het automatisch meetpunt zijn gebaseerd op een gemiddelde van alle momentane waarden tijdens de handmatige metingen, en wijken daarom op sommige plaatsen af van de waarden genoemd in tabel 4.

Bij grondkanaalventilatie laat meetpunt h1 een zeer hoge VE zien, terwijl meetpunt h2 een veel lagere VE heeft. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de stromingsrichting van de lucht in de afdeling. De lucht komt vanaf de zijde van het voerpad en stroomt door het hok naar achteren. Achter in het hok is de lucht meer vervuild, waardoor de VE daar lager is.

Bij plafondventilatie laat meetpunt h3 een hogere VE zien. Dit meetpunt is dus op een plaats gesitueerd waar meer verse lucht is als op de meetpunten h4 en a5. De verse lucht komt waarschijn-

Tabel 5 Gemiddelde en standaardafwijking van VE gedurende een ronde gebaseerd op de gemeten CO₂-concentratie op de verschillende plaatsen in het microklimaat

	meet- punt	VE CO ₂ ronde 1		ronde 2		ronde 3		totaal	
		gem.	st. afw.	gem.	st. afw.	gem.	st. afw.	gem.	st. afw.
grondkanaalventilatie	a2	1,41	0,36	1,43	0,39	1,23	0,36	1,36	0,37
	h1	1,80	0,52	1,31	0,45	2,37	1,37	1,83	0,97
	h2	1,21	0,44	1,01	0,27	0,85	0,21	1,02	0,35
plafondventilatie	a5	0,97	0,24	0,97	0,24	0,95	0,26	0,96	0,24
	h3	1,28	0,33	1,16	0,34	1,52	0,59	1,33	0,47
	h4	0,83	0,21	0,81	0,27	0,67	0,22	0,76	0,24
deurventilatie	a8	1,14	0,17	1,21	0,18	1,26	0,27	1,21	0,21
	h5	0,76	0,17	0,74	0,13	0,81	0,21	0,77	0,17
	h6	1,13	0,27	1,11	0,26	1,13	0,44	1,12	0,33

lijk op die plaats in de afdeling naar beneden. De plaats waar de lucht naar beneden komt is gerelateerd aan de ligplaats van de dieren. Boven een groep dieren zal de lucht namelijk altijd opstijgen in verband met de warmteproductie (paragraaf 3.3).

Bij deurventilatie heeft het meetpunt h5 de laagste VE. Vervuilde lucht van de achterste hokken stroomt door de voorste hokken terug naar de ventilator, waardoor op meetpunt h5 de VE het laagst is. Op meetpunt h6 is de VE weer hoger omdat dit meetpunt voor in het hok zit. Verse lucht stroomt vanuit de controlegang het hok in.

3.3 Liggedrag

In tabel 6 is het resultaat weergegeven van de wekelijkse waarnemingen van het aantal dieren dat binnen een cirkel van 1 meter van het meetpunt lag.

Tabel 6 Gemiddeld aantal dieren binnen een cirkel van 1 m van de meetpunten

grondkanaalventilatie		plafondventilatie		deurventilatie	
meetpunt	aantal dieren	meetpunt	aantal dieren	meetpunt	aantal dieren
a2	3,4	a5	3,8	a8	3,4
h1	4,6	h3	2,0	h5	2,1
h2	1,3	h4	4,5	h6	1,7

Uit tabel 6 blijkt dat er variatie is in het aantal dieren dat zich dichtbij een meetpunt bevond. Bij grondkanaalventilatie waren bij meetpunt h1 relatief veel dieren in de buurt, aangezien dit een ligplaats was voor de dieren. Bij meetpunt a2 waren vaak actieve dieren in verband met de nabijheid van de voerbak. In de buurt van meetpunt h2 waren relatief weinig dieren. Dit was een mestplek.

De warmteproductie van de dieren is van invloed op de luchtstroming in de afdeling. Dit is vooral bij plafondventilatie het geval waar binnenkomende lucht naar beneden zal zakken op plaatsen waar de dieren niet liggen.

Bij plafondventilatie waren bij meetpunt h3 gemiddeld weinig dieren in de buurt, waardoor daar de lucht de kans kreeg om te zakken. In de buurt van de meetpunten a5 en h4 waren meer dieren: dit was de ligplaats van de dieren die over het algemeen achter in de afdeling lagen.

In de afdeling met deurventilatie hadden de dieren vanwege de kleine hokken veel minder de mogelijkheid om een ligplaats in de afdeling te kiezen. Bij deze afdeling zijn dieren uit de hokken naast het hok waarin het meetpunt was gesitueerd niet meegeteld. Over het algemeen lagen de dieren op de dichte vloer. Bij meetpunt h6 waren relatief weinig dieren in de buurt (mestplek).

3.4 Luchtverdeling

In figuur 2 is al indicatief met behulp van pijlen de luchtstroming in de afdeling weergegeven. Ook aan de hand van de gemeten CO₂-concentraties zijn een aantal zaken betreffende de luchtstroming aan de orde gekomen.

Hier volgt een korte beschrijving van de waargenomen luchtverdeling bij de rookproeven.

Afdeling met grondkanaalventilatie

In de afdeling met grondkanaalventilatie was de luchtverdeling bij lagere ventilatiedebieten zeer goed. De controlegang stroomde vol met verse lucht en de lucht stroomde vanuit de controlegang als een deken over de hokafscheiding. In de hokken steeg de lucht langzaam op. Als de verwarming aan stond, steeg een deel van de verse lucht in de controlegang ten gevolge van de opwarming direct op richting plafond.

Bij hogere ventilatieniveaus kreeg het tweede hok meer verse lucht dan het eerste hok. Bij maximale ventilatie kwam er veel meer lucht in het achterste hok dan in het voorste hok.

Afdeling met plafondventilatie

In de afdeling met plafondventilatie was het zeer lastig om met behulp van rookproeven inzicht te krijgen in de luchtverdeling. Er was geen koude luchtval.

Afdeling met deurventilatie

In de afdeling met deurventilatie kwam bij lage ventilatiedebieten de lucht zeer rustig in de controlegang en verdeelde de lucht zich vrij goed over de verschillende hokken. In de achterste hokken kwam iets minder lucht dan in de voorste en de middelste hokken. Als de verwarming aan stond, steeg een deel van de verse lucht in de controlegang ten gevolge van de opwarming direct op richting plafond.

Bij hogere ventilatieniveaus werd de luchtstroming wilder en kregen de achterste hokken meer verse lucht dan de voorste hokken. Bij maximale ventilatie was de luchtverdeling minder goed: er kwam veel minder verse lucht in de voorste twee hokken en boven de middelste hokken was de luchtstroming zeer turbulent.

3.5 Energiegebruik

De resultaten van de analoge kWh-meting worden in tabel 7 vergeleken met de resultaten van de elektronische kWh-meting.

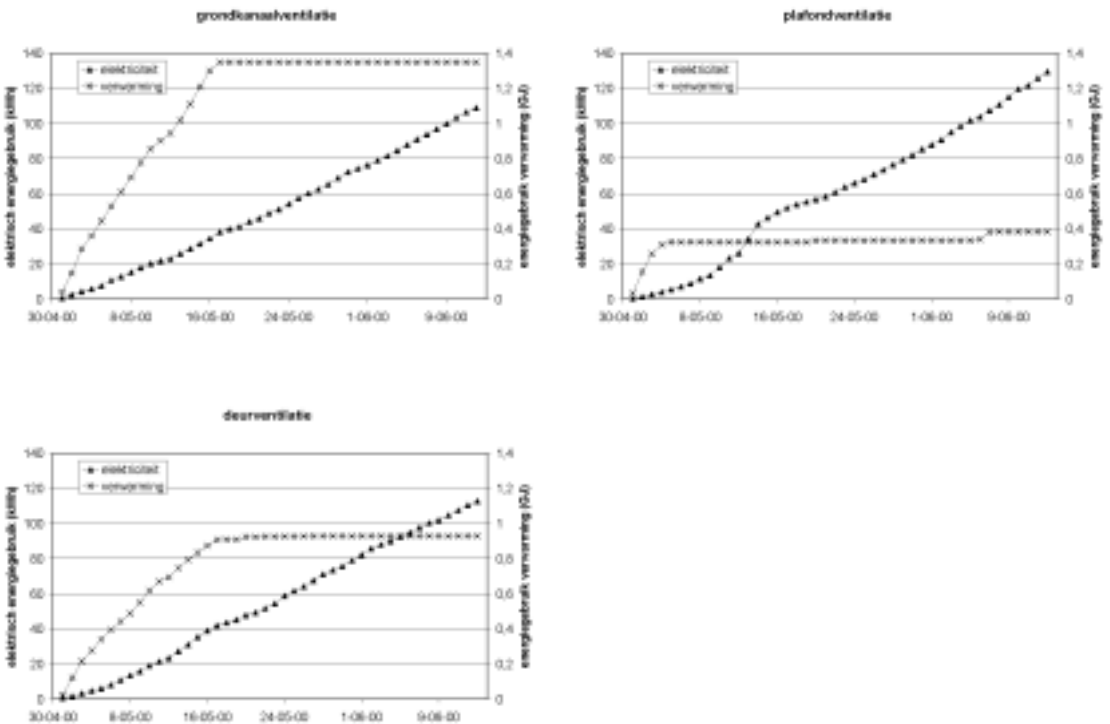
Tabel 7 Elektrisch energiegebruik van de afdeling met plafondventilatie en de afdeling met deurventilatie gemeten met elektronische en analoge kWh-meter

	elektronisch (kWh)	analoog (kWh)	afwijking (%)
ronde 1	100	118	-18%
ronde 2	168	190	-13%
ronde 3	192	211	-10%

De elektronisch kWh-meting geeft een onderschatting van het elektrisch energiegebruik met 10 à 20%.

In figuur 10 is het verloop van het energiegebruik gedurende de derde ronde weergegeven (deze continue gegevens zijn van de eerste en tweede ronde niet beschikbaar).

Figuur 10 Cumulatief gemeten energiegebruik voor ventilatie (elektronisch gemeten, niet gecorrigeerd) en verwarming in de drie proefafdelingen gedurende de derde ronde



In figuur 10 is te zien dat het elektriciteitsgebruik gedurende de ronde vrij constant is. Dit is opvallend omdat er gedurende de ronde wel steeds meer geventileerd wordt. Ten gevolge van de ruime capaciteit van de ventilatoren in de afdelingen is de maximale ventilatie voor deze proef ingesteld op 50% van deze capaciteit. Omdat de ventilatoren met behulp van een triac-regeling werden aangestuurd leidde een lagere ventilatiestand (lager dan 50%) niet of nauwelijks tot een lager energiegebruik.

Het energiegebruik voor verwarming concentreert zich in de eerste helft van de opfok. Vooral bij plafondventilatie is duidelijk te zien dat na vijf dagen geen verwarming meer nodig is. Later in de ronde loopt het energiegebruik nog iets op, terwijl er geen behoefte meer is aan afdelingsverwarming. Een mogelijk verklaring hiervoor is een lekkende klep waardoor de warmtemeter wel warmteafgifte registreerde.

In de afdelingen met grondkanaalventilatie en met deurventilatie stopt het energiegebruik voor verwarming na 17 dagen. De reden daarvoor is dat toen de vloerverwarming werd uitgezet.

Tabel 8 Gemeten energiegebruik voor afdelingsverwarming en ventilatie per ronde, omgerekend naar energiegebruik en gasverbruik per biggenplaats per jaar

	ronde	verwarming (GJ/jaar)	gas (m ³ /jaar) ¹	ventilatie (kWh/jaar)
grondkanaalventilatie	1	0,48	18,8	10,4
	2	0,41	16,4	10,1
	3	0,17	6,6	11,9
	<i>gemiddeld</i>	0,35	13,9	10,8
plafondventilatie	1	0,50	19,9	6,5
	2	0,40	16,0	7,7
	3	0,05	1,8	12,3
	<i>gemiddeld</i>	0,32	12,6	8,8
deurventilatie	1	0,47	18,6	7,6
	2	0,52	20,3	8,3
	3	0,11	4,5	11,4
	<i>gemiddeld</i>	0,37	14,5	9,1

¹ aanname: ketel- en leidingverliezen bedragen 20%

Energiegebruik voor verwarming op de centrale gang is niet meegenomen in dit onderzoek. Bij de afdeling met plafondventilatie kwam de lucht direct van buiten boven het plafond. Daar was dus geen energiegebruik voor verwarming van de centrale gang.

4 Discussie en conclusies

4.1 Automatische CO₂-en temperatuurmetingen

Op dierniveau zijn ten behoeve van het onderzoek meetpunten aangelegd. De resultaten van de metingen laten zien dat op dierniveau en in de luchtuitlaat verschillende temperaturen en CO₂-concentraties heersen, waardoor de heterogeniteit van de stallucht in beeld kan worden gebracht. Zoals theoretisch bepaalde resultaten en metingen op laboratoriumschaal aangeven (Hoff et al, 1995) blijkt ook uit de resultaten van dit onderzoek dat de stallucht, en ook de lucht op dierniveau, voor wat betreft CO₂-concentratie niet homogeen gemengd is.

De aanwezigheid van het meetpunt in de hokken zal de luchtstroming, maar ook het gedrag van de dieren enigszins beïnvloeden. Onduidelijk is hoe groot de effecten van de aanwezigheid van de meetpunten op de optredende temperatuur en CO₂-concentratie is. Verwacht wordt dat de metingen een goed beeld geven van de situatie zonder de sensoren.

In dit onderzoek wordt de concentratie CO₂ als indicator van de stalluchtkwaliteit gebruikt. CO₂ zelf is pas bij zeer hoge concentraties een schadelijke stof. De CO₂-concentratie op dierniveau was bij grondkanaal-ventilatie het laagst. Bij plafondventilatie was deze het hoogst. Ook werd bij plafondventilatie het vaakst de norm van maximale CO₂-concentratie overschreden en bij grondkanaalventilatie het minst. Aarnink en Wagemans (1997) vergeleken ook deze twee ventilatiesystemen en vonden een vergelijkbaar resultaat voor de NH₃-concentratie op dierniveau.

4.2 Klimaatinstellingen

De klimaatinstellingen in de drie afdelingen waren verschillend. Dit leidt tot verschillen in binnentemperatuur en verschillen in ventilatiedebiet en heeft dus invloed op de gemeten temperaturen, CO₂-concentraties en ventilatiedebieten. Op basis van praktijkervaringen werden de verschillende klimaatinstellingen noodzakelijk geacht voor een goed functioneren van de afdelingen. De verschillende klimaatinstellingen kunnen dus als 'eigenschap' van een ventilatiesysteem worden beschouwd. Dit wordt ondersteund door de gemeten verschillen in ventilatie-effectiviteit, waar bij de effectievere ventilatiesystemen minder luchtverversing noodzakelijk is.

4.3 CO₂-productie in de afdelingen

Met behulp van de CO₂-concentratiemetingen in ingaande en uitgaande lucht en de meting van het ventilatiedebiet is ten behoeve van de discussie de CO₂-emissie, en dus de CO₂-productie in de drie afdelingen ingeschat. In de afdelingen met grondkanaalventilatie was deze gemiddeld 1.082 gram per uur, in de afdeling met plafondventilatie 1.236 gram per uur en in de afdeling met deurventilatie 1.321 gram per uur. In de afdeling met grondkanaalventilatie, waar de VE het hoogst was, was de CO₂-productie het laagst.

Behalve door het luchtaanvoersysteem wordt de CO₂-concentratie in het microklimaat bepaald door de grootte van de productie van CO₂. In de verschillende afdelingen kunnen verschillen zijn ontstaan ten gevolge van diervariatie en ook ten gevolge van een ander mestopslag- en mestafvoersysteem onder de roosters. Uit opgeslagen mest komt CO₂ vrij (Ni, 1998), bij de afdelingen

met deurventilatie en met plafondventilatie was er géén Groen-Labelsysteem toegepast en was er mestopslag onder de roosters, zodat er een hogere CO₂-productie verwacht werd. In deze afdelingen was de gemeten CO₂-productie inderdaad hoger dan in de afdeling met grondkanaalventilatie met frequente mestafvoer.

4.4 De ventilatie-effectiviteit (VE)

In dit onderzoek is een verhoudingsgetal gebruikt om de effectiviteit van de ventilatie uit te drukken en te kwantificeren. Dit verhoudingsgetal geeft op een bepaald tijdstip de effectiviteit weer van de afvoer van een bepaalde stof.

Voor berekening van de waarde van VE zijn meetresultaten gebruikt met telkens ongeveer vier minuten tijdsverschil. De variaties die voor wat betreft CO₂ concentratie en ventilatiedebiet te verwachten zijn binnen enkele minuten zijn zeer gering.

Uit de metingen blijkt dat de waarde van VE voor warmte, dus de effectiviteit waarmee warmte uit het microklimaat wordt afgevoerd, ongelijk is aan de effectiviteit waarmee CO₂ uit het microklimaat wordt afgevoerd. Met name bij de ventilatiesystemen die gebaseerd zijn op de verdringing van lucht, zoals grondkanaalventilatie en deurventilatie, is dit het geval. Bij plafondventilatie is de lucht beter gemengd.

De invloed van het ventilatiedebiet op de waarde van de VE kon tevens uit de metingen worden afgeleid. Bij hoge ventilatiedebieten nam bij grondkanaalventilatie de VE voor zowel CO₂ als voor warmte af, net zoals bij plafondventilatie. Bij deurventilatie was dit net omgekeerd, omdat het meetpunt achter in de afdeling was gesitueerd waar bij hogere ventilatiedebieten veel verse lucht komt. Dit geeft aan dat de locatie van de metingen binnen op dierniveau mede bepalend is voor de waarde van de VE.

Uit de handmatige CO₂-concentratiemetingen blijkt ook dat de plek in het hok op dierniveau zeer bepalend is voor de CO₂-concentratie. Bij verdringingsventilatie stroomt de lucht door de afdeling en neemt vervuilende stoffen mee. Verder in het stromingstraject, dichter bij de luchtuitlaat, zal de concentratie vervuilende stoffen hoger zijn dan richting de luchtinlaat. Dit komt duidelijk naar voren bij de resultaten van de afdeling met grondkanaalventilatie en bij deurventilatie.

Daarnaast hebben de locaties van de bronnen van vervuilende stoffen een belangrijke invloed op de verdeling ervan in de afdeling. Uit de metingen blijkt dat bij plafondventilatie, waar de dieren als bronnen van CO₂ ook een belangrijke invloed hebben op de luchtstroming, op plaatsen waar de dieren veel liggen een hogere CO₂-concentratie wordt gemeten dan op plaatsen waar de dieren weinig liggen. Dit is vergelijkbaar met de resultaten die Puma (1999) vond voor de ruimtelijke verdeling van stofconcentraties rondom een stofbron, en heeft directe gevolgen voor de waarde van de VE op die locatie. In de afdeling met grondkanaalventilatie was één meetpunt direct naast de voerbak gesitueerd; dit is een plek waar de dieren weinig zullen liggen. De belangrijkste bron van CO₂ was dus niet in de directe omgeving van dit meetpunt.

Bij beoordeling van de ventilatie-effectiviteit met de voor dit onderzoek ontwikkelde meetopstelling is de locatiekeuze van de meetpunten in een afdeling in samenhang met het liggedrag van de dieren in die afdeling zeer bepalend voor het resultaat.

Ondanks dat er vele verschillen tussen de drie afdelingen waren voor wat betreft inrichting, kan uit de resultaten worden afgeleid dat het luchtaanvoersysteem een belangrijke invloed heeft op

de effectiviteit van de afvoer van vervuilende stoffen en warmte uit de leefzone van de dieren in een varkensafdeling. Hierbij geeft grondkanaalventilatie de meest effectieve ventilatie. Dit is in overeenstemming met de resultaten van Breum et al. (1990) die bij een ventilatiesysteem met een opwaartse luchtstroom een effectievere ventilatie vond dan bij een ventilatiesysteem met een naar onderen gericht luchtstroom. Ook Aarnink en Wagemans (1997) concludeerden dat de luchtkwaliteit in stallen kan worden verbeterd door het toepassen van een lage luchtinlaat in plaats van inlaat via een plafond.

4.5 Energiegebruik

Uit de metingen aan het energiegebruik voor ventilatie blijkt dat er slechts geringe verschillen waren in energiegebruik tussen de drie afdelingen. Vanwege verschillende diameters van de ventilatoren is een directe vergelijking van de gemeten cijfers lastig.

Wat betreft energiegebruik voor verwarming waren de verschillen tussen de drie afdelingen ook gering, alleen in de derde zomerronde was het energiegebruik bij plafondventilatie een stuk lager dan bij de andere twee afdelingen. Dit had te maken met de afwezigheid van vloerverwarming in deze afdeling, terwijl die in de andere twee afdelingen zeventien dagen aan heeft gestaan.

Energiegebruik voor verwarming van de centrale gang was in dit geval van toepassing bij de afdelingen met grondkanaalventilatie en deurventilatie.

Ondanks het feit dat er lagere ventilatie-instellingen zijn gehanteerd bij grondkanaalventilatie en deurventilatie, was het gemeten energiegebruik voor verwarming bij deze ventilatiesystemen niet lager dan bij plafondventilatie. Dit is niet in overeenstemming met de verwachting dat er door effectieve ventilatie minder luchtverversing noodzakelijk is en daardoor minder verwarmingsenergie.

Door verschillen tussen afdelingen, zoals de aan- of afwezigheid van vloerverwarming en wel of geen aanvoer van de lucht via de centrale gang, kunnen de gemeten cijfers van het energiegebruik echter niet vergeleken worden.

Op grond van fysische wetmatigheden kan worden gesteld dat er door ventileren met een lager luchtdebiet energiebesparing behaald kan worden. Wanneer echter bij effectieve ventilatiesystemen naast vervuilende stoffen zoals CO₂ ook op een effectieve manier warmte uit de stal wordt afgevoerd zal dit ten koste gaan van (een deel van) de haalbare energiebesparing.

Daarnaast wordt bij ventilatiesystemen waarbij de lucht onder de dichte vloer door de afdeling binnenkomt gebruik gemaakt van de bufferende werking van de bodem. Hierdoor wordt de lucht geconditioneerd (verwarmd tijdens koude perioden en gekoeld tijdens warme perioden), wat leidt tot energiebesparing en een stabielere binnentemperatuur.

4.6 Betekenis voor de praktijk

De resultaten uit dit onderzoek geven inzicht in het aandeel van de binnenkomende lucht dat werkelijk voor luchtverversing zorgt op dierniveau. Wanneer dit aandeel groter is, kan met een kleinere hoeveelheid verse lucht geventileerd worden.

De in de praktijk geadviseerde basisnormen zijn gebaseerd op een homogeen gemengde ruimte (VE = 1). Wanneer de VE echter hoger is, bijvoorbeeld bij systemen met een luchtinlaat op een laag gelegen plaats, kunnen deze normen nader worden gespecificeerd. Een overzicht van de invloed van een VE ongelijk aan 1 wordt in bijlage 3 weergegeven.

Duidelijk is dat er een aantal voordelen verbonden zijn aan het toepassen van effectieve ventilatiesystemen. Bij een verlaagde luchtinlaat is het risico van koude luchtval geëlimineerd. Er zijn echter ook andere risico's. Effectieve ventilatie betekent in veel gevallen dat de luchtinlaat dicht bij de dieren is gesitueerd, waardoor het risico van tocht kan toenemen. Het optreden van tocht heeft een negatieve invloed op de diergezondheid en de productie.

In de proefafdeling met grondkanaalventilatie was de maximale luchtsnelheid in de luchtinlaatspleet in de vloer van de controlegang 1,1 m/s. Hierdoor ging bij hogere ventilatiedebieten de binnenkomende lucht te veel omhoog en nam de effectiviteit van de ventilatie af. Een lagere luchtsnelheid zou gerealiseerd kunnen worden wanneer de inlaatopening ruimer is, zodat de lucht ook bij hogere ventilatiedebieten rustig binnenkomt.

Een goede uitvoering van het systeem is dus essentieel. Een belangrijk aspect hierbij is hoge luchtsnelheden in het grondkanaal en elders in het luchtaanvoersysteem te vermijden. Lucht met een hoge snelheid is lastig te sturen waardoor wisselingen in luchtsnelheid, ofwel ventilatiedebiet, leiden tot een verandering in de luchtverdeling. Over het algemeen geldt: hoe lager de luchtsnelheid hoe beter, maar een maximale verticale luchtsnelheid van 1 m/s in de luchtinlaat (omhooggaande lucht in de controlegang) dient zeker gerespecteerd te worden om ook bij hogere ventilatiedebieten effectieve ventilatie te houden.

4.7 Conclusies

- De meetopstelling is geschikt om op dierniveau luchtkwaliteit te meten.
- De gemeten effectiviteit van de ventilatie, uitgedrukt in de effectiviteit waarmee CO₂ en warmte uit het microklimaat afgevoerd worden met de ventilatielucht, is bij grondkanaalventilatie hoger dan bij plafondventilatie.
- In de afdeling met grondkanaalventilatie, een effectief luchtaanvoersysteem, kan met een lager luchtdebiet een lagere CO₂-concentratie op dierniveau worden gerealiseerd dan bij plafondventilatie met een hoger luchtdebiet.

Literatuur

- Aarnink, A.J.A. en M.J.M. Wagemans, 1997. Ammonia volatilization and dust concentration as affected by ventilation systems in houses for fattening pigs. Transactions of the ASAE vol. 40(4): p. 1161 - 1170.
- Andreasen, M., P. Bækbo en J.P. Nielsen, 1999. Effect of aerial ammonia on porcine infection of the respiratory tract with toxigenic *Pasteurella multocida*. Acta vet. Scand., vol. 40 no. 3, p. 197 - 203.
- Bjerg, B., S. Morsing, K. Svidt en G. Zhang, 1999. Three-dimensional airflow in a livestock test room with two-dimensional boundary conditions. J. agric. Engng Res. 74, p. 267 - 274.
- Bockisch, F.J., T. Jungbluth en A. Rudovsky, 1999. Technische Indikatoren für die Beurteilung einer tiergerichteten Haltung von Rindern, Schweinen und Leghennen [Technical indicators for evaluation of housing systems for cattle, pigs and laying hens relating to animal welfare] (in German). Züchtungskunde, 71(1), S. 38 - 63.
- Breum, N.O., F. Helbo en O. Laustsen, 1989. Dilution versus displacement ventilation - an intervention stud. Ann. Occup. Hyg. vol. 33, No. 3, p. 321 - 329.
- Breum, N.O., H. Takai en H.B. Rom, 1990. Upward vs. downward ventilation air flow in a swine house. Transactions of the ASAE, vol. 33(5): September - October 1990, p. 1693 - 1699.
- Harral, B.B. en C.R. Boon, 1997. Comparison of predicted and measured air flow patterns in a mechanically ventilated livestock building without animals. J. Agric. Engng Res. 66, p. 221 - 226.
- Hoff, S.J., J. Li en L. Tsao, 1995. Simulated and measured effect of rectangular obstructions on carbon dioxide gas dispersion in scaled swine building. Transactions of the ASAE vol. 38(5), p. 1519 - 1532.
- Klimaatplatform, 1999. Varkens zijn de beste temperatuurvoelers. Varkens 6 juli 1999.
- Lavoie, J., G. Marchand en G. Gingras, 1997. Pit Ventilation in pig-housing facilities. Canadian Agricultural Engineering vol. 39(4), p. 317 - 326.
- Liddament, M., 1993. Technical note 39; a review of ventilation efficiency. Air Infiltration and Ventilation Centre (AIVC), University of Warwick Science Park, UK.
- Ni, J., 1998. Emission of carbon dioxide and ammonia from mechanically ventilated pig house. Phd-thesis 338, Katholieke Universiteit Leuven.
- Nienhaber, J.A., G.L. Hahn, T.P. McDonalds en R.L. Korthals, 1996. Feeding patterns and swine performance in hot environments. Transactions of the ASAE vol. 39(1), p. 195 - 202.

Price, L., P.C. Young, D. Berckmans, K. Janssens en J. Taylor, 1999. Data-based mechanistic modelling (DBM) and control of mass and energy transfer in agricultural buildings. In: Annual Reviews in Control vol. 23, p. 71 - 82.

Prunier, A., M. Messias de Bragança en J. le Dividich, 1997. Influence of high ambient temperature on performance of reproductive sows. Livestock Production Science 52, p. 123 - 133.

Puma, M.C., R.G. Maghirang, M.H. Hosni en L. Hagen, 1999. Modelling of dust concentration distribution in a simulated swine room under non-isothermal conditions. Transactions of the ASAE vol. 42(6), p. 1823 - 1832.

Scheepens, C.J.M., M.J.M. Tielen en M.J.C. Hessing, 1991a. Influence of daily intermittent draught on the health status of weaned pigs. Livestock production Science 29, p. 241 - 254.

Scheepens, C.J.M., M.J.C. Hessing, E. Laarakker, W.G.P. Schouten en M.J.M. Tielen, 1991b. Influences of intermittent daily draught on the behaviour of weaned pigs. Applied Animal Behaviour Science 31, p. 69 - 82.

Smith, J.H., C.R. Boon, A.J.F. Webster en C.M. Wathes, 1999. Measurements of the effects of animals on airflow in an experimental piggery. J. Agric. Engng Res. 72, p. 105 - 112.

Stombaugh, D.P., H.S. Teague en W.L. Rollers, 1969. Effects of atmospheric ammonia on the pig. J. Anim. Sci. 28, p. 844 - 847.

Wagenberg, A.V. van, J.H.C. Rooseboom, A.I.J. Hoofs, M.A.H.H. Smolders en P.F.M.M. Roelofs, 2000. Het praktisch en technisch functioneren van mestpanventilatie in kraamafdelingen. Proefverslag P 1.241, Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen.

Werkgroep Klimaatnormen, 1989. Klimaatnormen voor varkens. Proefverslag P 1.43, Proefstation voor de Varkenshouderij, Rosmalen.

Bijlagen

Bijlage 1 Gemiddelde productieresultaten in de drie afdelingen gedurende de drie ronden

	grondkanaalventilatie	plafondventilatie	deurventilatie
groei per dier (kg/dag)	0,435	0,421	0,394
voerconversie (kg voer/kg groei)	1,62	1,71	1,68

Bijlage 2 Karakteristieke gegevens van de verzamelde data met de automatische opstelling

	grondkanaalventilatie			plafondventilatie			deurventilatie			
	ronde 1	ronde 2	ronde 3	ronde 1	ronde 2	ronde 3	ronde 1	ronde 2	ronde 3	
aanvangsdatum	17/1/00	14/3/00	1/5/00	24/1/00	14/3/00	1/5/00	24/1/00	14/3/00	1/5/00	
einddatum	21/2/00	13/4/00	13/6/00	21/2/00	13/4/00	13/6/00	21/2/00	25/4/00	13/6/00	
aantal waarnemingen	885	741	1.074	732	760	1.081	723	1.067	998	
CO ² ingaand	min.	692	675	630	666	663	624	683	646	621
	max.	1.240	1.240	1.270	955	1.040	1.120	1.220	1.220	1.200
	gem.	803	789	744	737	742	733	771	757	733
	stdev.	69	69	77	53	85	69	68	65	77
CO ² micro-klimaat	min.	1.330	1.440	1.000	1.490	1.630	1.000	2.060	1.560	1.180
	max.	6.720	5.740	7.200	7.470	7.090	6.230	6.500	7.400	6.330
	gem.	2.534	2.405	2.307	3.126	3.276	2.657	3.186	2.664	2.466
	stdev.	614	537	800	718	840	817	457	529	703
CO ² uitgaand	min.	1.930	2.130	1.040	1.750	2.010	1.050	2.240	2.010	1.640
	max.	5.100	4.260	4.430	5.500	4.500	4.340	4.940	4.280	5.070
	gem.	3.070	2.995	2.633	3.116	3.067	2.518	3.464	3.000	2.786
	stdev.	431	355	732	505	439	646	465	442	610
Buitentemp.	min.	-11,2	-3,9	3,4	-11,2	-3,9	3,4	-11,2	-3,9	3,4
	max.	11	19,8	32,7	11	19,8	32,7	11	25,8	32,7
	gem.	3,5	6,8	16,4	3,6	6,8	16,4	3,6	7,9	16,4
	stdev.	3,8	4,3	6,6	4,1	4,3	6,6	4,1	5,0	6,6
Temp. ingaand	min.	8,0	9,0	12,0	-0,7	2,7	6,9	6,0	6,5	10,7
	max.	15,0	17,4	24,4	13,5	19,7	31,5	15,3	22,4	29,4
	gem.	11,1	13,0	17,0	7,4	10,2	17,2	10,0	13,2	18,0
	stdev.	1,4	1,5	2,5	2,8	3,3	4,8	1,9	2,9	4,0
Temp. dierniveau	min.	17,1	18,5	19,2	17,8	20	19,8	18,6	18,3	20,3
	max.	26,9	27,6	28,5	27,0	27,1	30,8	26,3	27,2	30,3
	gem.	22,3	23,1	24,2	23,0	24,3	25,5	22,0	22,9	24,7
	stdev.	1,7	1,7	1,8	1,1	1,1	1,6	1,4	1,3	1,8
Temp. uitgaand	min.	18,8	21,5	20,6	19,3	20,3	18,8	17,7	19,6	20,3
	max.	26,3	28,3	29,2	25,5	27,7	30,9	25,8	27,7	30,5
	gem.	23,0	24,6	25,4	22,5	23,3	24,8	21,0	22,5	24,4
	stdev.	1,0	1,1	1,8	1,2	1,3	1,8	1,3	1,2	1,9
Ventilatie-debiet	min.	1,7	2,6	3,0	3,1	3,1	3,8	2,6	2,6	3,0
	max.	8,6	9,9	32,8	10,7	13,8	33,9	9,0	25,2	25,2
	gem.	5,7	5,7	11,2	6,3	7,1	12,6	5,4	8,8	11,8
	stdev.	1,6	1,5	5,6	1,5	1,9	6,3	1,3	4,2	5,3

Bijlage 3 Basisinstellingen op basis van VE = 1 (Klimaatplatform, 1999) en berekende instellingen bij effectiever en minder effectief ventileren

Instellingen begintemperatuur ventilatie en minimum- en maximumventilatie voor varkensstallen voorzien van meetventilator en automatische diafragma. Voor de neutrale-zoneverwarming 2 graden, en de vaste P-bandventilatie 5 graden hanteren.

		VE CO ₂ = 1, VE T = 1		VE CO ₂ = 0,8, VE T = 0,8		VE CO ₂ = 1,2, VE T = 1,2	
begintemp. ventilatie (°C) (m ³ /uur)		minimum-ventilatie (m ³ /uur)	maximum-ventilatie (m ³ /uur)	minimum-ventilatie (m ³ /uur)	maximum-ventilatie (m ³ /uur)	minimum-ventilatie (m ³ /uur)	maximum-ventilatie (m ³ /uur)
guste zeugen	22	20	150	25	187,5	16,7	125
drachtige zeugen	20	25	150	31,3	187,5	20,8	125
kraamzeugen							
- voor werpen	20	25	200	31,3	250	20,8	166,7
- tijdens werpen*	23	25	200	31,3	250	20,8	166,7
- 1 week							
na laatste worp*	20	50	250	62,5	312,5	41,7	208,3
- eind kraamperiode	20	50	250	62,5	312,5	41,7	208,3
gespeende biggen***							
- opleg (7,5 kg)*	26	3	12	3,8	15	2,5	10
- dag 21	24	6	18	7,5	22,5	5	15
- dag 42	22	9 (evt. 6)**	25	11,3	31,3	7,5	20,8
vleesvarkens***							
- dag 1 (23 kg)*	25	8	30	10	37,3	6,7	25
- dag 5*	23	8	30	10	37,5	6,7	25
- dag 50	22	15	55	18,8	68,8	12,5	45,8
- dag 100	21	20 (evt 15)**	80	25	100	16,7	66,7

* vloerverwarming op 30°C oppervlaktetemperatuur, uitschakelen op basis van liggedrag biggen

** eventueel lager instellen, dit geeft lager risico bij afleveren van deel van de varkens uit de afdeling

*** gespeende biggen op 0,3 m² en vleesvarkens op 0,7 m², beide halfroostervloer (normen voor 0,4 m² respectievelijk 1,0 m² zijn nog niet bekend)

Reeds eerder verschenen proefverslagen

Proefverslag P 1.245

Het toevoegen van persulp aan droogvoer voor vleesvarkens. E.M.A.M. Bruininx, Scholten, R.H.J., Binnendijk, G.P., Roelofs, P.F.M.M., Verdoes, N. en Haaksma, J., augustus 2000.

Proefverslag P 1.246

De invloed van melkzuur op de technische en financiële resultaten en gezondheid van gespeende biggen. M.A.H.H. Smolders, Krimpen, M.M. van, Scholten, R.H.J. en Loo, D.J.P.H. van de, augustus 2000.

Proefverslag P 1.247

INTEGER. Een bedrijfscertificaat met geïntegreerd toezicht voor wet- en regelgeving en minimale markteisen. P.C. Vesseur, Hoff, H.M., Bokma-Bakker, M.H., Mul, M.F., Vleuten, C.W.J.M. van der, Kramer, F.B. en Verhagen, J.M.F., september 2000.

Proefverslag P 1.248

Het praktisch en technisch functioneren van grondkanaalventilatie in afdelingen voor guste en drachtige zeugen. A.V. van Wagenberg, Rooseboom, J.H.C., Hoofs, A.I.J., Smolders, M.A.H.H. en Roelofs, P.F.M.M., september 2000.

Proefverslag P 1.249

De gevolgen van een verlengde gustperiode of een verkorte zoogperiode op de reproductieresultaten van zeugen. G.P. Binnendijk, Hoofs, A.I.J. en Peet-Schwering C.M.C. van der, oktober 2000.

Proefverslag P 1.250

Het gebruik van neusringen en mogelijke alternatieven om beschadigend wroetgedrag bij zeugen met weidegang te voorkomen. M.F. Mul en Spoolder, H.A.M., november 2000.

Proefverslag P 1.251

Aanwijzingen voor oorzaken voor de toename van het aandeel afgekeurde levers bij vleesvarkens. J.H. Huiskes en Zonderland, J.J., december 2000.

Proefverslag P 1.252

Gebruikswaarde van I&R-oormerktransponders en randapparatuur. J.H. Huiskes, Binnendijk, G.P. en Diepstraten, H.J.A., december 2000.

Proefverslag P 1.253

De invloed van het afdekken van voerbakken op de stofconcentratie in afdelingen voor gespeende biggen. P.F.M.M. Roelofs en Binnendijk, G.P., december 2000.

Proefverslag P 1.254

Perspectieven voor niet-chemische bestrijdingsmethoden tegen fruitvliegen in varkensstallen. M.F. Mul, Roelofs, P.F.M.M. en Spoolder, H.A.M., december 2000.

Proefverslag P 1.255

Resultaten praktijkproef Diergeveiligheidsindex. M.F. Mul en Bokma-Bakker, M.H., februari 2001.

U kunt de proefverslagen bestellen bij het Praktijkonderzoek Veehouderij, tel. 0320-29 32 34 of 0320-29 32 36