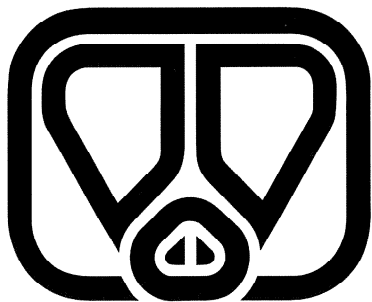


ir. I.A.A.C. Mouwen
ing. J.G. Plagge

Studie naar klimatisering van de dekstal in relatie tot emissie en energie

*Study for climatisation of
stak for empty sows in
relation to emission and
energy*



Praktijkonderzoek Varkenshouderij

Locatie:
Varkensproefbedrijf
"Noord- en Oost-Nederland"
Drosteweg 8
8101 NB Raalte
Tel: 05720 - 52174

Proefverslag nummer P 1.125
januari 1995
ISSN 0922-8586

Het project is uitgevoerd onder contract met de Nederlandse Onderneming voor Energie en Milieu BV (NOVEM) in het kader van het programma Agrarische Sector dat gefinancierd wordt door het Ministerie van Economische Zaken.

Opdrachtgever:
Novem
Swentiboldstraat 21
Sittard

VOORWOORD

Dit rapport beschrijft de resultaten van een onderzoek naar recirculatie van stallucht in een dekaafdeling en een studie die naar aanleiding van het onderzoek is verricht. Het onderzoek is uitgevoerd op het Varkensproefbedrijf "Noord- en Oost-Nederland" te Raalte. Het onderzoek vond plaats in samenwerking met Tolsma 2000 te Emme-

loord en Tauw Milieu b.v. te Deventer. Het onderzoek werd mogelijk gemaakt dankzij medefinanciering van NOVEM, de provincies Gelderland, Flevoland, Overijssel en Drente en de Coöperatie ABC Gelderland te Lochem.

Bij deze willen wij de volgende personen bedanken voor hun bijdrage aan dit rapport:

dr.ir. CE. van 't Klooster
Proefstation voor de Varkenshouderij, sinds
1994 IMAG-DL0

dhr. J.M. Veenstra
Fresh Engineering Emmeloord b.v.

ir. R. Oosting
Tauw Milieu b.v.

INHOUDSOPGAVE

	SAMENVATTING	5
	SUMMARY	6
1	INLEIDING	7
2	MATERIAAL EN METHODE	8
2.1	Proefdieren	8
2.2	Proefbehandelingen	8
2.3	Werkwijze	8
2.4	Voeding en watervoorziening	8
2.5	Staluitvoering	9
2.6	Klimatisering	10
2.6.1	Oorspronkelijke opzet klimatisering	10
2.6.2	Verbeterde opzet klimatisering	10
2.7	Luchtzuivering	11
2.7.1	Systeemkeuze luchtzuivering	11
2.7.2	Biotricklingfiltratie	12
2.7.3	Nitrificatie	13
2.7.4	Uitvoering	13
2.8	Verzameling en verwerking gegevens	13
3	RESULTATEN	16
3.1	Werking biotricklingfiltratie	16
3.2	Stal klimaat en emissies	16
3.2.1	Thermisch klimaat	16
3.2.2	Ammoniak, kooldioxyde, methaan, distikstofoxyde en waterdamp	19
3.2.3	Screening op overige stalluchtcomponenten	23
3.3	Energieverbruik	24
3.3.1	Afdeling met recirculatie	24
3.3.2	Referentie-afdeling	25
3.3.3	Extra geïsoleerde afdeling	25
3.3.4	Mogelijke aanpassingen afdeling met recirculatie	25
3.3.5	Evaluatie energieverbruik	27
3.4	Diergegevens	27
3.4.1	Gezondheid en uitval	27
3.4.2	Produktieresultaten	27
3.5	Bedrijfsvoering	27
4	PERSPECTIEVEN	29
4.1	Recirculatie op praktijkschaal	29
4.2	Energetische perspectieven	30
4.3	Economische perspectieven	31
5	DISCUSSIE EN CONCLUSIES	33
5.1	Productie	33
5.2	Milieu	33
5.3	Energie	33
5.4	Mogelijkheden in de toekomst	34
	LITERATUUR	35
	BIJLAGEN	37
	1 Reeds verschenen publikaties met betrekking tot klimatisering van de dekstal	37
	REEDS EERDER VERSCHENEN PROEFVERSLAGEN	38

SAMENVATTING

Om de temperatuur in varkensstallen continu te kunnen beheersen is een klimaatstelsel ontwikkeld onder de naam BB-Air Recycling en in een afdeling met te dekken zeugen onderzocht.

De drie proefbehandelingen, die zijn uitgevoerd op het Varkensproefbedrijf te Raalte, verschilden onderling alleen door de wijze van klimatisering en de dikte van de isolatie van de dekafdelingen waarin de zeugen na het spenen werden gehuisvest. De drie proefbehandelingen waren:

- geklimatiseerde dekafdeling met luchtrecirculatie (RC);
- referentie-dekafdeling, zonder recirculatie en zonder extra isolatie (N);
- dekafdeling met extra isolatie (XI).

De referentie-afdeling en de extra geïsoleerde afdeling werden mechanisch geventileerd via de centrale gang en de kleppen. De referentie-afdeling was geïsoleerd met 4 cm polyurethaan en de extra geïsoleerde afdeling met 8 cm polyurethaan. De geklimatiseerde afdeling was ook met 8 cm polyurethaan geïsoleerd. In de afdeling met luchtrecirculatie diende de buitenlucht voor de zuurstoftoevoer; de hoeveelheid bedroeg slechts 9 m³/zeug/uur. De gerecirculeerde lucht is gereinigd door een biotricklingfilter. De temperatuur en luchtvochtigheid werden met een condensor geregeld, terwijl UV,-lampen zorgden voor desinfectie van de ventilatielucht. De ammoniak uit de stallucht werd door het biotricklingfilter afgevangen en vastgelegd als nitraat. De verwachte gunstige effecten op de

reproductieresultaten zijn niet vastgesteld. Door de toegepaste techniek van luchtreiniging en geringe afvoer van lucht was de emissie van ammoniak erg laag: 0,2 kg per zeugplaats per jaar. Ook de uitstoot van andere milieubelastende componenten was erg laag. De ammoniakuitstoot van de referentie-afdeling bedroeg 5,3 kg per zeugplaats per jaar.

Energieverbruik voor verwarming is bij het BB-Air Recycling systeem niet nodig omdat de ventilatie- en transmissieverliezen (als gevolg van extra isolatie) erg laag zijn. In een afdeling met extra isolatie kan door de kleine transmissieverliezen het energieverbruik worden teruggedrongen tot 293 kWh per zeugplaats per jaar. Het energieverbruik door de mechanische koeling voor de afdeling met recirculatie is hoog. Uit berekeningen blijkt dat met energie-arme alternatieven de energiekosten voor koeling verlaagd kunnen worden tot onder het niveau in een standaard dekstal. In een standaard dekstal wordt 423 kWh per zeugplaats per jaar verbruikt. In een dekstal met recirculatie en bij mechanische koeling 505 kWh per zeugplaats per jaar. Door gebruik te maken van een energie-arme koelwijze (grondbuizen) kan het energieverbruik van het BB-Air Recycling systeem dalen tot 153 kWh per zeugplaats per jaar. Als dit systeem verder ontwikkeld wordt voor de praktijk, heeft de Nederlandse varkenshouder er een interessante optie bij met betrekking tot de keuze van emissie-arme huisvestingssystemen.

SUMMARY

An air-conditioning system (BB-Air Recycling) was designed to maintain a constant temperature in a pig house. This system was tested in a house with dry sows.

Three different setups for housing dry sows were tested at the Experiment Farm for Pig Husbandry "North- and East-Netherlands" in Raalte. The difference between the setups were the way of climatisation and the thickness of the insulation. The setups were:

- section with air-conditioning and recirculation of air (RC);
- reference section, without insulation and extra insulation (N);
- section with extra insulation (XI).

The reference section and the section with extra insulation had mechanical ventilation with an indirect inlet. The reference section was insulated with 4 cm polyethane and the section with extra insulation was insulated with 8 cm polyethane. The section with recirculation of air was insulated with 8 cm polyethane. In the section with recirculation fresh air was the oxygen supplier. The amount of fresh air was limited to only 9 m³/sow/hour. The recirculated air was cleaned by a biotrickling filter. Temperature and moisture removal were controlled by means of a condensor and air was disinfected by UV_C-radiation. Ammonia was col-

lected by the biotrickling filter and oxidized to nitrate.

The expected positive effects on the technical results of the sows were not measured.

The ammonia emission was very low:

0.2 kg/sow/year. The emissions of other aerial pollutants were also very low. The ammonia emission of the traditional section was 5.3 kg/sow/year.

No energy was needed to maintain room temperature, as heat loss through ventilation and transmission (due to extra thermal insulation) was very low. Due to low transmission, the energy use of a section with extra insulation can be reduced to 293 kWh per sow per year. The energy use of the mechanical cooling was high; energy friendly alternatives for mechanical cooling are required to reduce the energy costs of cooling. In the traditional section 423 kWh was needed per sow per year in the section with recirculation and mechanical cooling 505 kWh was needed per sow per year. If the way of cooling is more energy friendly (for instance with earth tubes), then the energy use should decrease to 153 kWh per sow per year.

Further development of the prototype to a market-ready system can add an interesting option for low polluting housing systems for pork producers.

1 INLEIDING

Na de zomer kampen veel zeugenhouders met extra terugkomers en kleine tomen biggen. Een hoger percentage onregelmatige terugkomers in de zomermaanden is ook door Reilly & Roberts (1991) geconstateerd (normaal 7,13% versus 20,4% in juli).

Tevens hebben met name zeugen die gespeend worden in de maanden juni, juli, augustus en september vaak een verlengd interval spenen-dekken (Britt et al., 1983). Een betere temperatuurbeheersing in dekstallen waarbij zowel de mogelijkheid tot verwarmen als tot koelen aanwezig is, zou daarin mogelijk verbetering kunnen brengen.

Bij koelen zijn isolatie en lekdichtheid net zo belangrijk als bij verwarmen. Aan de isolatie van stallen wordt al geruime tijd aandacht besteed (Wathes, 1981). In Nederland wordt voor vermeerderingsstallen een k-waarde voor de dakisolatie van $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ en een k-waarde voor de wandisolatie van $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ geadviseerd (Anon., 1993). Voor deze stallen wordt vaak een cementgebonden dakplaat met daaronder 60 mm polyurethaan gebruikt. Als wand wordt een spouwmuur bestaande uit baksteen, 70 mm spouw en kalkzandsteen met 30 mm mineraalwol in een spouw veel toegepast. Afvoeren van overtollige warmte in varkensstallen gebeurt in de praktijk uitsluitend door veel te ventileren. Men kan de staltemperatuur op deze manier echter niet lager krijgen dan de buitentemperatuur. Om in de stal een lagere temperatuur te verkrijgen is koeling noodzakelijk. De technologie voor koeling wordt buiten de landbouw veel ingezet in ondermeer air-conditioning van kantoren, ziekenhuizen, etc. Ook op landbouwbedrijven wordt koeltechniek toegepast bij de bewaring van aardappelen, groenten en fruit, champignons en andere producten die snel bederven of die langdurig opgeslagen worden.

Door het verlagen van de ventilatiehoeveelheid hoeft er in de wintermaanden minder verwarmd te worden. Zo wordt het energieverbruik beperkt. Deze situatie strookt met

het overheidsbeleid om het energieverbruik ook in de veehouderij terug te dringen. De warmteproductie van de dieren wordt in de winter beter benut om de stal op temperatuur te houden. De warmteproductie van varkens is ondermeer beschreven aan de hand van model berekeningen door Sterrenburg & Van Ouwerkerk (1986). Deze modellen zijn gebaseerd op proeven in klimaatkamers waar zeugen aan enkelvoudige klimaatsfactoren zijn blootgesteld, zie bijvoorbeeld voor dragende zeugen Verhagen et al. (1986). De warmteproductie van zeugen in dekstallen bedraagt ongeveer 250 Watt per zeug. Deze warmte wordt voor een deel als voelbare warmte en voor een deel als latente warmte in de vorm van waterdamp afgegeven. Bij een staltemperatuur van 18 tot 20°C wordt circa 72% als voelbare warmte afgestaan aan de stallucht. De rest van de overtollige warmte wordt als latente warmte afgevoerd. Dit laatste is van belang voor de vochtbalans in de stal.

Vanuit milieu-oogpunt is het streven erop gericht, de emissie van ammoniak en andere stankveroorzakende en milieubelastende gassen vanuit varkensstallen te verminderen. De emissie wordt bepaald door de afgevoerde hoeveelheid ventilatielucht en de concentratie van onder andere ammoniak in die lucht. Een mogelijkheid om de emissie te verminderen kan onder andere worden bereikt door de ventilatielucht te zuiveren. Zuivering door een biobed of biofilter levert technische en economische bezwaren op (Van de Sande-Schellekens, 1993).

Met deze achtergronden is een klimaatregeling ontworpen, gebouwd en getest in een dekafdeling: het BB-Air Recycling systeem. De volgende aspecten zijn in de evaluatie betrokken: technisch realiseerbaarheid; praktisch functioneren; de invloed op de productie, het energieverbruik en de uitstoot van ammoniak; de economische perspectieven.

2 MATERIAAL EN METHODE

2.1 Proefdieren

Het onderzoek is uitgevoerd van oktober 1992 tot en met oktober 1993 op het Varkensproefbedrijf "Noord- en Oost-Nederland" met F1-(GY * NL) en met zuivere NL-zeugen die minstens éénmaal geworpen hebben. In totaal zijn 488 zeugen willekeurig over de drie proefbehandelingen verdeeld.

2.2 Proefbehandelingen

De drie proefbehandelingen verschilden onderling alleen door de wijze van klimatisering en de dikte van de isolatie van de dekaafdelingen waarin de zeugen na het spenen werden gehuisvest. De drie proefbehandelingen waren:

- geklimatiseerde dekaafdeling met luchtre-circulatie (RC);
- referentie-dekaafdeling, zonder recirculatie en zonder extra isolatie (N);
- dekaafdeling met extra isolatie (XI).

De staluitvoering van de drie dekaafdelingen staat beschreven in § 2.5.

2.3 Werkwijze

Op de dag van spenen zijn de zeugen verplaatst van de kraamstal naar één van de dekaafdelingen. De gespeende zeugen zijn wekelijks in een volgende afdeling opgelegd.

Vanaf de vierde dag na spenen is twee keer per dag berigheidscontrole uitgevoerd. Bij optreden van berigheid zijn de zeugen ge'insemineerd. Een overinseminatie vond plaats wanneer op de tweede of derde dag na inseminatie nog een goede sta-reflex aanwezig was. FI-zeugen die op de tiende dag na spenen nog geen berigheid vertoonden, zijn op die dag behandeld met PG 600. Bij optreden van berigheid vond inseminatie plaats. Trad geen berigheid op, dan is een week later nogmaals een hormoonbehandeling gegeven. Indien ook daarna de berigheid uitbleef, is het betreffende dier afgevoerd. NL-zeugen zijn op de zeventiende dag na spenen bij uitblij-

ven van de berigheid met hormonen behandeld. Zonodig is de behandeling een week later herhaald. Bij uitblijven van berigheid na de tweede hormoonbehandeling zijn de betreffende zeugen afgevoerd.

In de vierde week na inseminatie is een drachtigheidstest uitgevoerd. Bij een positieve uitslag zijn de zeugen verplaatst naar een afdeling met groepshuisvesting voor dragende zeugen. Bij een negatieve uitslag is een hormoonbehandeling toegepast om berigheid op te wekken. Berige zeugen werden ge'insemineerd. Bij uitblijven van berigheid is een week later nogmaals een hormoonbehandeling gegeven. Bij het uitblijven van berigheid en een tweede negatieve uitslag bij de drachtigheidstest zijn de zeugen afgevoerd. In de afdelingen voor dragende zeugen is dagelijks berigheidscontrole uitgevoerd. Berige zeugen zijn teruggeplaatst naar één van de dekaafdelingen en ge'insemineerd. Wanneer na herinseminatie nogmaals berigheid optrad, zijn de dieren afgevoerd.

2.4 Voeding en watervoorziening

Zowel in de dekaafdelingen als in de afdelingen voor dragende zeugen werd alleen 's morgens gevoerd. Van spenen tot deken, of bij uitblijven van berigheid tot maximaal 10 dagen na spenen, kregen eersteworpszeugen 2,5 kg en de meerdereworpszeugen 3 kg zeugenbrok (EW 0.97). Vanaf deken of vanaf 10 dagen na spenen kregen eersteworpszeugen tot dag 60 van de dracht 2,0 kg voer verstrekt en vanaf dag 60 tot het einde van de dracht 2,75 kg. Meerdereworpszeugen kregen vanaf deken of vanaf 10 dagen na spenen tot dag 60 van de dracht 2,5 kg; vanaf dag 60 tot dag 80 2,75 kg en vanaf dag 80 tot het einde van de dracht 3,25 kg. In de dekstal konden de zeugen beperkt water opnemen. 's Morgens tijdens en na het voeren was er een uur water beschikbaar en 's middags een half uur. In de afdelingen met dragende zeugen stond water onbeperkt beschikbaar.

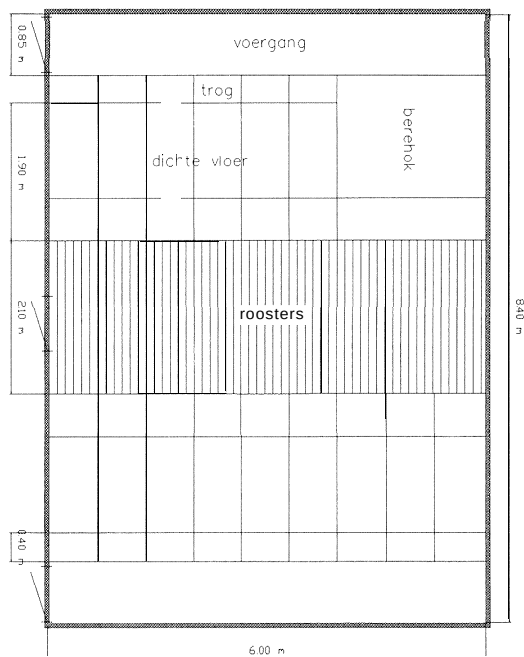
2.5 Staluitvoering

Voor het onderzoek zijn 3 dekafdelingen gebruikt. Wat afmetingen en indeling betreft waren alle afdelingen gelijk (8,40 m * 6,00 m), zie figuur 1. Per afdeling was er ruimte voor 15 zeugen in twee rijen voerligboxen (1,90 m lang en 0,65 m breed) en voor een beer. Voor de boxen aan de voergang bevond zich een trog, deze was 40 cm breed. De voergang was 0,85 m breed. Tussen beide rijen boxen lag een betonnen roostervloer van 2,10 m breed. De roosters lagen gedeeltelijk onder de boxen.

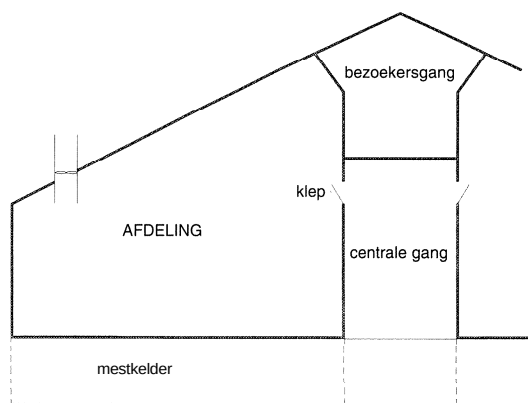
De verschillen tussen de afdelingen bestonden uit de mate van isolatie en de wijze van ventileren. De referentie-afdeling (N) en de extra geïsoleerde afdeling (XI), schematisch weergegeven in figuur 2, werden mechanisch geventileerd. De luchtinlaat vond plaats via een centrale gang en handbediende kleppen boven de scheidingsmuur tussen de centrale gang en de afdeling. De ventilatiekoker bevond zich op twee meter hoogte in het midden van de afdeling tegen de zijaevel. Zowel de centrale gang als de

afdeling kon worden verwarmd. In de referentie-afdeling waren de scheidingswanden en het dak geïsoleerd met 8 cm polyurethaan. De extra geïsoleerde afdeling was voorzien van dubbele isolatie, namelijk 15 cm polyurethaan.

In de afdeling met recirculatie (RC) werd de lucht onder de roosters afgezogen en buiten de stal door een biotricklingfilter geblazen. In dit filter werd ammoniak genitrificeerd en werden andere in water oplosbare gassen en ook stof uit de lucht verwijderd. Omdat niet alle gassen via het filter werden verwijderd en omdat zuurstof moest worden toegevoegd, moest een klein gedeelte van de stallucht worden verversd. Om de temperatuur in de stal op het gewenste niveau te houden werd de lucht gekoeld, alvorens deze via een verdeelunit terug werd gebracht in de afdeling. De lucht behoefde nooit verwarmd te worden omdat de warmteproductie groter is dan de afvoer. In figuur 3 is de afdeling met recirculatie schematisch weergegeven.



Figuur 1: Indeling dekafdelingen



Figuur 2: Schematische weergave van de referentie-afdeling en de extra geïsoleerde afdeling

2.6 Klimatisering

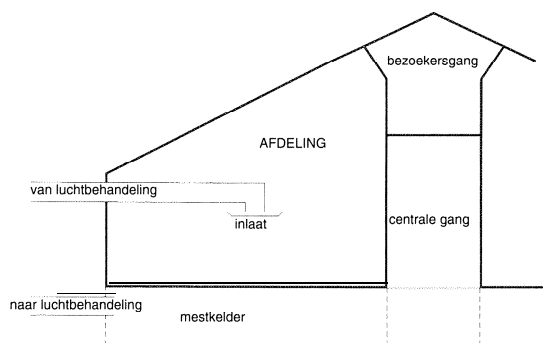
Via recirculatie en conditionering van de ventilatielucht is getracht de emissies en het energieverbruik te beperken. Tijdens het onderzoek is het technische ontwerp aangepast. Achtereenvolgens worden de oorspronkelijke opzet en de laatste situatie beschreven.

2.6.1 Oorspronkelijke opzet klimatisering

Door het toepassen van een luchtrecirculatiesysteem, gekoppeld aan een geïntegreerd luchtbehandelings- en conditioneringsproces kunnen aanzienlijke reducties van emissies en een grote besparing op verwarmingsenergie worden gerealiseerd. Mede door het thermisch conditioneren van de gerecirculeerde lucht kan de hoeveelheid lucht die door de afdeling gaat worden teruggebracht. Bij het ontwerpen van het klimaatbeheerssysteem is rekening gehouden met eisen ten aanzien van energiebesparing, klimaatcondities, warmte- en vochtproductie, luchtsnelheid, drukval en besturings-techniek. Het beheersen van temperatuur en luchtvochtigheid is een absolute voorwaarde. Door het ventilatiesysteem mag geen tocht of een ongunstig luchtbewegingspatroon ontstaan.

Voor het functioneren van een koel- en luchtreinigingssysteem moeten de afdeling en de luchtbehandelingsruimte voldoende geïsoleerd zijn, teneinde effecten van in- of uitstraling te minimaliseren.

De recirculatielucht werd door een biofilter



Figuur 3: Schematische weergave van de afdeling met recirculatie

basis van concentraties kooldioxyde en zuurstof. Een centrifugaal ventilator zorgde in het recirculatiesysteem voor het luchttransport.

De overtollige warmteproductie van de zeugen is gebruikt om het drinkwater, dat op het Varkensproefbedrijf werd opgepompt, te verwarmen. Via een warmtewisselaar kon het drinkwater ongeveer 10°C in temperatuur worden verhoogd. Dit opgewarmde drinkwater werd opgeslagen in het bestaande leidingnet van het Varkensproefbedrijf. Voor de koeling van de stal was op deze wijze geen of nauwelijks fossiele energie nodig.

De in de gerecirculeerde lucht aanwezige ziektekiemen werden met behulp van UV_C-straling onschadelijk gemaakt voordat de lucht terug in de stal gebracht werd. Om beïnvloeding van aangrenzende afdelingen zoveel mogelijk te voorkomen, was buiten, ter hoogte van de afdeling met recirculatie, een geïsoleerde container opgesteld. Container en afdeling waren met elkaar verbonden door middel van een ondergrondse koker die aangesloten was op de bovenrand van de mestkelder. Via de kelder werd de lucht uit de afdeling naar de container gezogen. Bovengronds was er een verbinding via een kanaal waardoor de gezuiverde lucht vanuit de container teruggevoerd werd naar de afdeling.

2.6.2 Verbeterde opzet klimatisering

Omdat een aantal uitgangspunten na installatie van het systeem niet met de werkelijkheid overeen bleken te komen, zijn een aantal wijzigingen ten opzichte van het oorspronkelijke ontwerp aangebracht.

Door de hoge drukval in het biofilter, die in de loop van de tijd toenam door inklinking van het organische materiaal, kon na korte tijd het gewenste ventilatiedebiet niet meer worden gerealiseerd. Het biofilter is vervangen door een biotricklingfilter met gereticuleerd polyurethaan als pakkingsmateriaal. In de luchtbehandelingsruimte zijn twee kleine hulpventilatoren aangebracht om te zorgen voor voldoende afvoer van kooldioxyde en aanvoer van zuurstof.

Het koeffect van de warmtewisselaar was te gering omdat er te weinig warmte aan het drinkwater kon worden afgegeven. Om de warmte af te voeren is de warmtewisselaar

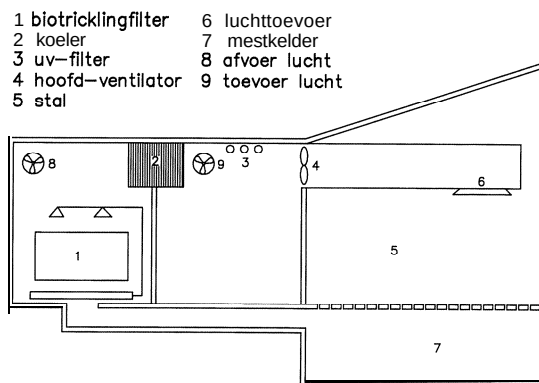
vervangen door een mechanische koeler. Een schematische weergave van de verbeterde situatie is weergegeven in figuur 4.

Via het verbindingskanaal (8) tussen de mestkelder en de container en een luchtverdeelsysteem (1) gaat de stallucht door het biotricklingfilter (2), waar ammoniak en andere gassen uit de lucht worden verwijderd. Een pomp (9) zorgt ervoor dat er continu recirculatiewater over het biotricklingfilter gesproeid wordt. Door middel van een suppletieventilator (10) wordt een beperkte hoeveelheid stallucht afgevoerd. Vervolgens wordt de resterende lucht gekoeld (3) van circa 19°C naar circa 13°C en wordt een beperkte hoeveelheid buitenlucht toegevoegd middels een tweede suppletieventilator (10). Hierna wordt de lucht met UV-licht (4) ontsmet en daarna door de hoofdventilator (5) teruggebracht in de afdeling (6) via een centraal in de afdeling gelegen inlaat (7). Indien door storingen de temperatuur of de gasconcentraties de maximum ingestelde waarden overschrijden, wordt de deur tussen afdeling en centrale gang automatisch geopend.

2.7 Luchtzuivering

2.7.1 Systeemkeuze luchtzuivering

Varkens stellen eisen aan de luchtsamenstelling, zoals ondermeer is beschreven



Figuur 4: Schema luchtrecirculatie (verbeterde opzet)

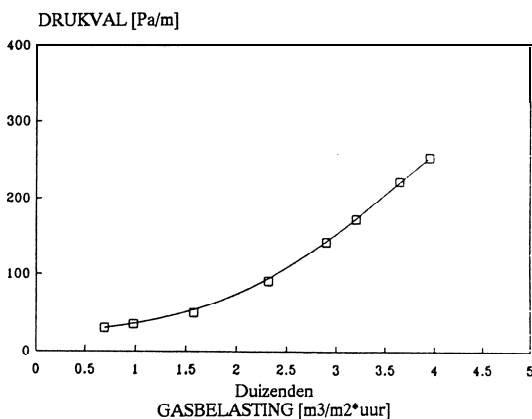
door Van 't Klooster et al. (1989). Een meer volledige beschrijving van ongewenste stal-luchtcomponenten is gegeven door O'Neill & Phillips (1992). Om ophoping van gassen in de afdeling met het recirculater te voorkomen is luchtzuivering noodzakelijk.

Gezien de samenstelling (onder andere NH_3 , H_2S , organische vetzuren, CH_4) en de lage concentraties van de gassen, is binnen het project gekozen voor biologische lucht-reiniging. Hiervan bestaan drie uitvoeringsvormen: biofilters, biowassers en biotricklingfilters.

Een biofilter bestaat uit een bak gevuld met boomschors, heide of een mengsel van luchtdoorlatend organisch materiaal. Door het organische karakter is het materiaal gevoelig voor inklinking, uitdroging en verzuring.

Een biowasser bestaat uit een kolom (al dan niet met een pakkingsmateriaal) waarin de absorptie van de te verwijderen componenten plaatsvindt en een actief slibtank waarin de componenten afgebroken worden.

Een biotricklingfilter bestaat uit een kolom gevuld met pakkingsmateriaal dat tevens dient als hechtingsoppervlak voor de micro-organismen. Hierdoor vindt absorptie en afbraak simultaan in de kolom plaats wat een relatief compact systeem geeft. Doordat er waterrecirculatie over het pakkingsmateriaal plaatsvindt kan het proces actief gestuurd worden, onder andere op basis van pH en voedingszouten.



Figuur 5: Drukval versus gassnelheid over een biotricklingfilter (Oosting, 1992)

Het onderzoek is gestart met een biofilter die vervangen is door een door Tauw Milieu b.v. ontwikkeld biotricklingfilter.

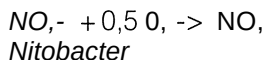
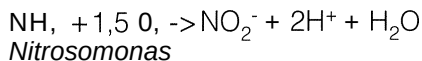
2.7.2 Biotricklingfiltratie

Bij biotricklingfiltratie wordt een relatief kleine hoeveelheid water continu over een synthetisch pakingsmateriaal (in dit geval gereticuleerd polyurethaan) gerecirculeerd. Hierdoor is een betere procescontrole (pH, voedingsstoffendosering, electric conductivity) mogelijk. Door het toepassen van een synthetisch pakingsmateriaal is en blijft de drukval over het systeem erg laag (figuur 5). Een schematische weergave van het biotricklingfilter is weergegeven in figuur 6.

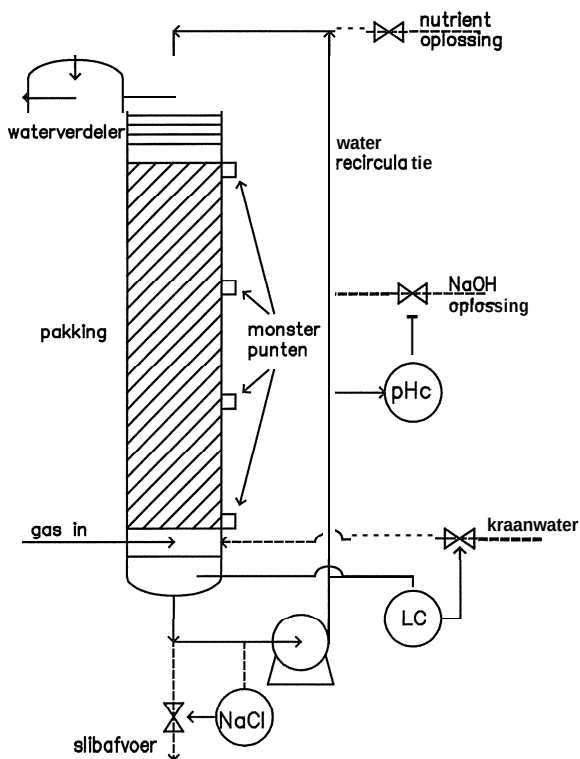
2.7.3 Nitrificatie

De afgevangen ammoniak wordt door middel van nitrificatie omgezet. Bij nitrificatie gebruiken de micro-organismen ammonium als energiebron. In dit proces wordt ammo-

niem geoxideerd tot nitriet en vervolgens tot nitraat analoog aan de onderstaande vergelijkingen, de omzet vindt plaats door het er achter vermelde micro-organisme:



Als koolstofbron wordt voornamelijk CO_2 gebruikt. Zoals uit bovenstaande reacties blijkt, zijn voor de omzetting van NH_4^+ tot NO_3^- twee bacteriegeslachten nodig. De procesomstandigheden hebben verschillende invloeden op de beide geslachten. Figuur 7 geeft de invloed weer van de concentraties NH_3 en HNO_2 op de nitrificatie. Aangezien nitriet giftig is, is het wenselijk zo weinig mogelijk NO_2^- te laten ophopen



Figuur 6: Een schematische weergave van een biotricklingfilter

Nitrificerende bacteriën (*Nitrosomonas*) zijn relatief langzame groeiers, waardoor de slibaanwas gering is. Hierdoor blijft de drukval laag.

2.7.4 Uitvoering

Het in eerste instantie geplaatste biofilter van boomschors is vervangen door een biotricklingfilter, met gereticuleerd polyurethaan als pakkingsmateriaal. Het systeem is geënt met een nitrificerende en methanotrofe cultuur. Met behulp van een pH-regelunit wordt de pH op circa 7 gehouden. Figuur 8 geeft schematisch de situatie weer.

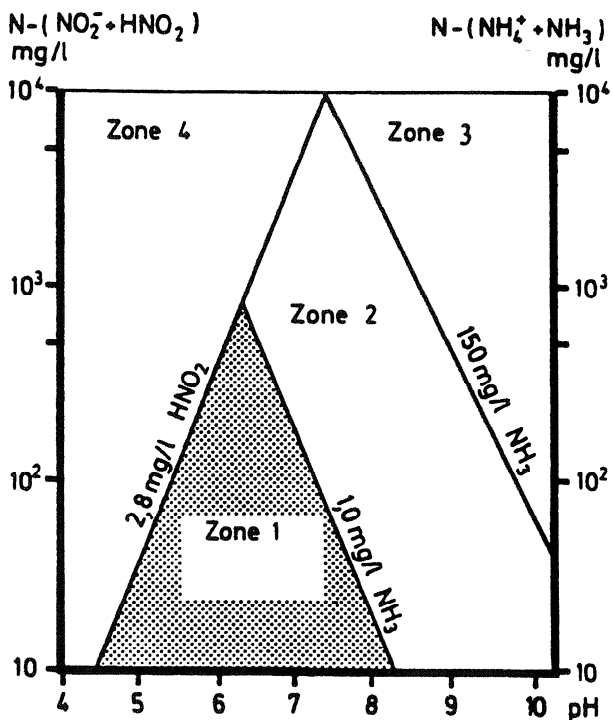
De totale inhoud van het biotricklingfilter was 7,5 m³, met een dwarsaangestroomd oppervlak van 6 m². De verblijftijd van de ventilatielucht in het biotricklingfiltersysteem was circa 25 seconden. Er werd circa 800 liter water per uur gerecirculeerd. Sinds juli

1994 is alleen nog maar gebruik gemaakt van de halve capaciteit van het biotricklingfilter. Dit bleek ook voldoende om de ammoniakconcentratie in de lucht te reduceren tot het gewenste niveau.

Zouten, onder andere nitraat, hoopten zich op in het recirculatiewater. Deze zouten hadden een negatieve invloed op de werking van het biotricklingfilter. Daarom werd ongeveer 70 liter water per dag vervangen. Het spuiwater is toegevoegd aan de mest.

2.8 Verzameling en verwerking gegevens

Tijdens het onderzoek werden de volgende gegevens per zeug geregistreerd: paringstype, worpnummer, verblijftijd in dekstal, inseminatie, overinseminatie, herinseminaties, speedatum, worpdatum, gewicht bij werpen, aantal levend- en doodgeboren



Figuur 7: De tolerantie van de nitrificatie ten aanzien van ongedissocieerd ammoniak en ongedissocieerd salpeterzuur afhankelijk van de pH

Zone 1: complete nitrificatie

Zone 2: remming van *Nitrobacter* door ammoniak

Zone 3: remming van *Nitrosomonas* en *Nitrobacter* door ammoniak

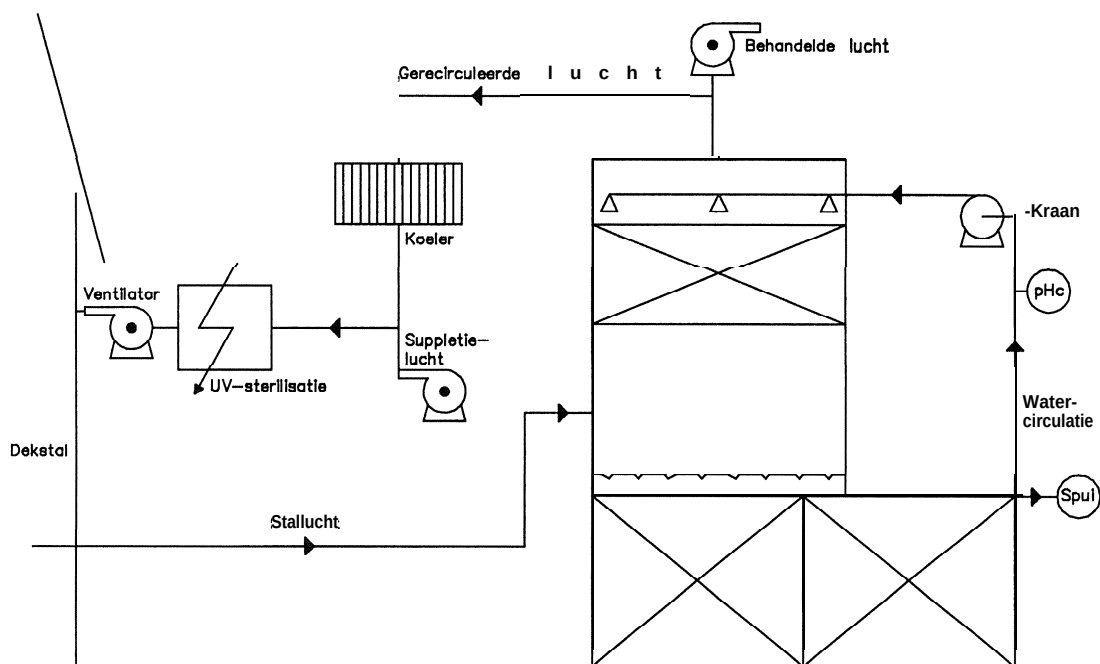
Zone 4: remming van *Nitrobacter* door salpeterigzuur

biggen, beginaantal biggen, aantal gespeende biggen soort en aantal veterinair behandelingen.

De produktieresultaten zijn statistisch getoetst, waarbij gecorrigeerd is voor worpnummer en paringstype. Het aantal levenden en doodgeboren biggen, het beginaantal en het aantal gespeende biggen zijn getoetst met behulp van regressie-analyse. Het aantal dagen spenen-werpen en het gewicht bij werpen is getoetst met behulp van variantie-analyse. De overige factoren zijn met behulp van de Chi-kwadraat-toets vergeleken. (SAS, 1990)

Voor het meten van gasconcentraties is gebruik gemaakt van een NDIR-monitor Bruel & Kjaer 1302, waarmee maximaal vijf verschillende gassen en waterdamp continu konden worden gemeten. De filters zijn gekalibreerd met de gassen ammoniak, kooldioxide, lachgas en methaan. Voor eventuele interferentie met andere gassen is niet gecorrigeerd. De monitor is iedere

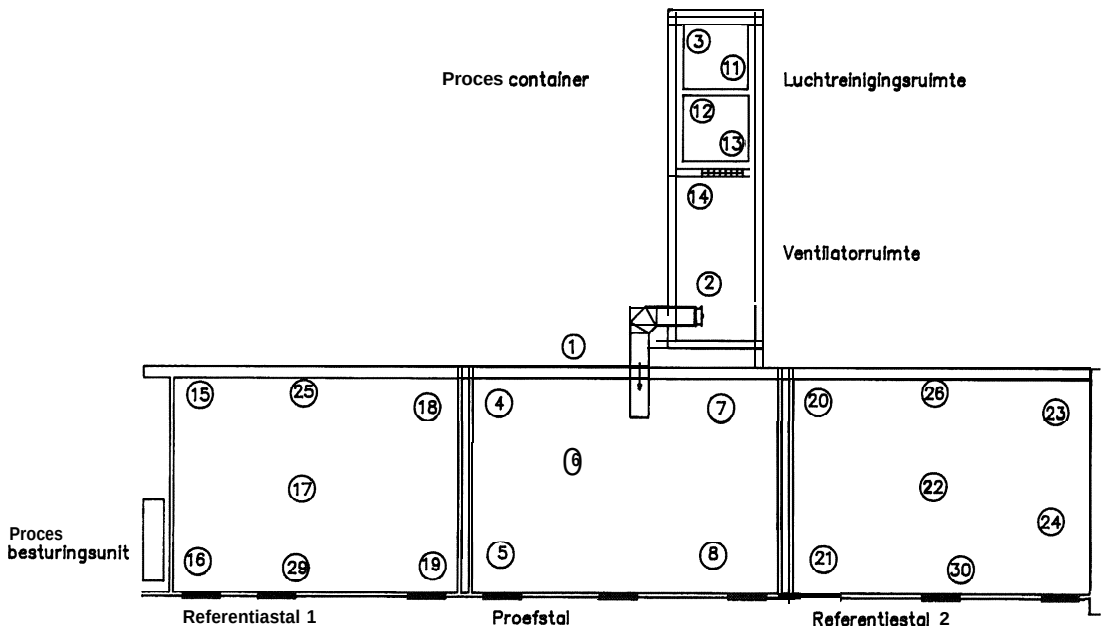
10 dagen gecontroleerd op correct functioneren en zonodig gekalibreerd. Een meer complete beschrijving van het meetprincipe en de procedures is beschreven door Van 't Klooster et al. (1992). De monitor is aangesloten op een luchtmonsternamesysteem, waarmee geschakeld kon worden naar 30 verschillende punten waar lucht werd afgezogen. Op ieder van deze punten was tevens een temperatuursensor gemonteerd. De bemonsterde meetpunten lagen in de drie afdelingen die in het onderzoek waren betrokken, in de luchtbehandelingscontainer en in de buitenlucht. Figuur 9 geeft een overzicht van de verschillende meetpunten. Het energieverbruik van de recirculatie-unit is vastgelegd met behulp van kWh-meters. Wekelijks werd het functioneren van het biotricklingfilter gecontroleerd door Tauw Infra Consult b.v. Tijdens deze wekelijkse controle werd een monster genomen van het gerecycled water en de pH bepaald. Uit dit monster werden de concentraties ammo-



Figuur 8: Flowschema biotricklingfilter Raalte

nium, nitraat en nitriet bepaald. De hoeveelheid toegevoegd loog en het spuidebiet werden geregistreerd. Door Tauw Infra Consult b.v. zijn in de referentie-afdeling en in de afdeling met recirculatie stalluchtmonsters genomen en geanalyseerd. De metingen, die in duplo zijn verricht, waren gericht op de componenten zwavelwaterstof (H_2S), fenolen en cresolen (gassen die bij afbraakprocessen in de mest vrijkomen), organische vetzuren (C , tot C_5 ketens), ammoniak en de identificatie van onbekende vluchtige stoffen. De luchtmonsters zijn genomen op een hoogte van 1,5 m boven de vloer van de voerligboxen. De bemonstering van de fenolen,

H_2S , ammoniak en organische vetzuren zijn nat-chemisch uitgevoerd. Hiervoor is ongeveer drie uur lucht afgezogen op de monsterpunten en door gaswasflessen geleid met een geschikte wasvloeistof. De bemonstering op onbekende componenten is uitgevoerd door een constante luchtstroom circa 24 uur over actieve kool te leiden. De koolmonsters zijn met GasChromatografie/MassaSpectrometrie (GC/MS) gescreend op onbekende organische componenten. De verkregen resultaten van de GC/MS screening zijn indicatief. Uit de vergelijking van de resultaten kan inzicht worden verkregen in de beïnvloeding van de stalluchtkwaliteit door het biotricklingfilter.



MULTIGAS MEETSISTEEM

Figuur 9: Bemonsterde meetpunten in het onderzoek

3 RESULTATEN

3.1 Werking biotricklingfiltratie

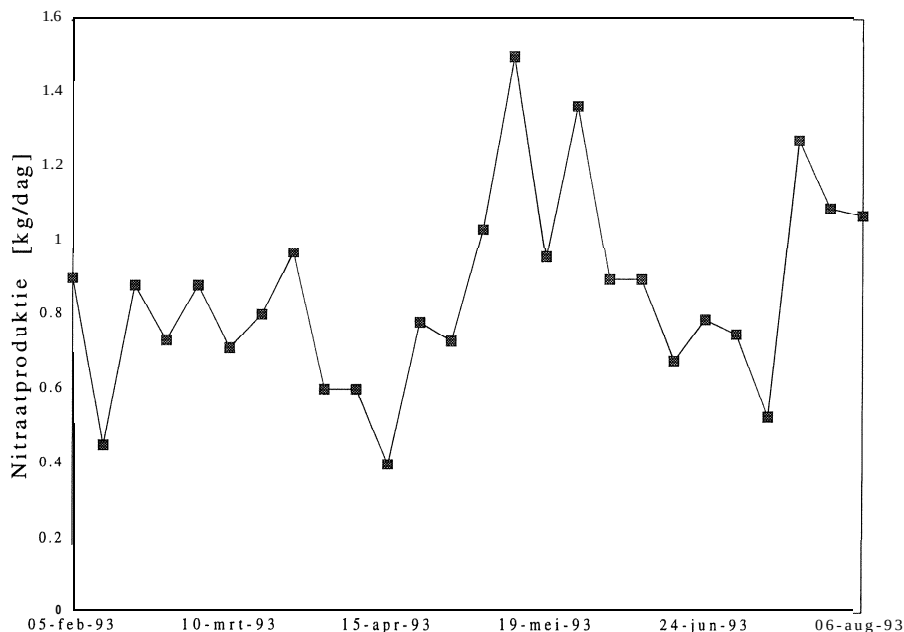
Het biotricklingfilter heeft goed gefunctioneerd. De aangebrachte sproeiers gaven een goede vloeistofverdeling over het pakingsmateriaal. Door de geringe slibaan-groei en doordat het recirculatiewater niet met zwevende delen werd vervuild, bleef de drukval laag (circa 25 Pa).

Ook de toegepaste pH-regeling heeft goed gefunctioneerd. Hierdoor kon de pH van het recirculatiewater constant op zeven worden gehouden. Wel moest de voeler wekelijks worden gereinigd. In het biotricklingfilter werd NH_4^+ omgezet in NO_3^- en H_2S in SO_4^{2-} . Organische componenten werden omgezet in CO_2 . De productie van NO_3^- en NO_2^- in het recirculatiewater is in de loop van de tijd gevolgd. In figuur 10 is de productie van NO_3^- als functie van de tijd weergegeven en in figuur 11 de omzetting van NH_4^+ . Bij de verwerking van de data kon alleen verantwoord gebruik gemaakt worden van de gegevens die verzameld zijn na februari 1993, in verband met de vervanging van het biofilter en de wijzigingen aan het biotricklingfilter.

3.2 Stalklimaat en emissies

3.2.1 Thermisch klimaat

De gemiddelde etmaaltemperatuur in de drie afdelingen, van april tot oktober 1993, is weergegeven in figuur 12. In tabel 1 is de gemiddelde buitentemperatuur weergegeven over dezelfde periode. In alle afdelingen kon de gewenste minimum temperatuur gerealiseerd worden. Er was dus voldoende verwarmingscapaciteit aanwezig in de referentie-afdeling en in de afdeling met extra isolatie. In de afdeling met recirculatie was de voelbare warmteproductie van de zeugen groot genoeg om de afdelingstemperatuur boven het minimum te houden. De temperatuur in de referentie-afdeling bereikte op zomerse dagen waarden tot boven 29°C . In de geïsoleerde afdeling waren de temperatuurschommelingen iets kleiner, de standaardafwijking van de temperatuur was iets lager. In de afdeling met recirculatie was de afdelingstemperatuur vrij constant, de standaardafwijking was erg klein. Door technische storingen liep de temperatuur in deze afdeling op sommige dagen echter

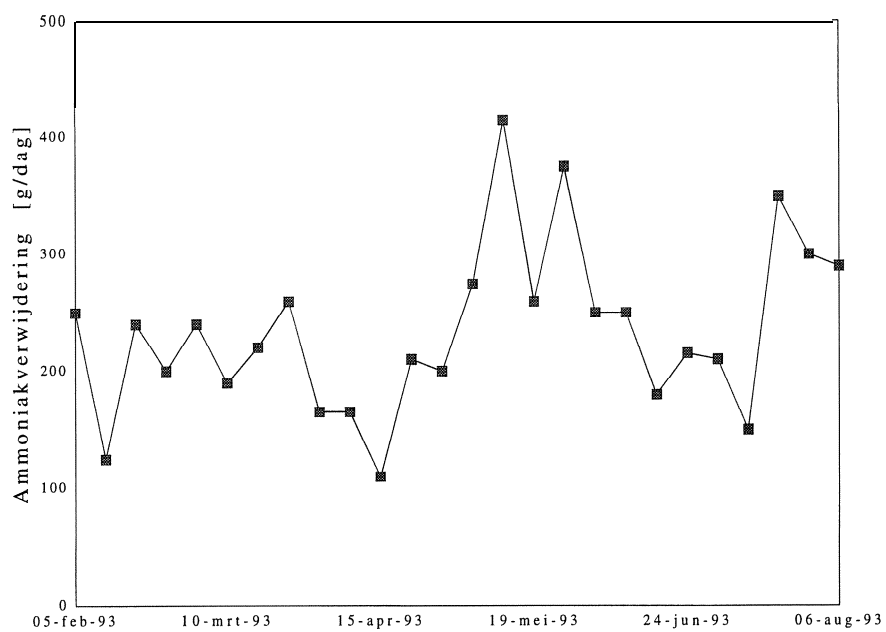


Figuur 10: Nitraatproductie als functie van de tijd

ook op tot waarden die ver boven de streefwaarde lagen. De gemiddelde temperatuur over de hele proefperiode was in de extra geïsoleerde afdeling hoger dan in de referentie-afdeling.

De ventilatiehoeveelheid in de afdeling met recirculatielucht is enkele malen met tracer-gassen (SF₆ en N₂O) gemeten volgens de rate-of-decay methode. De resultaten van

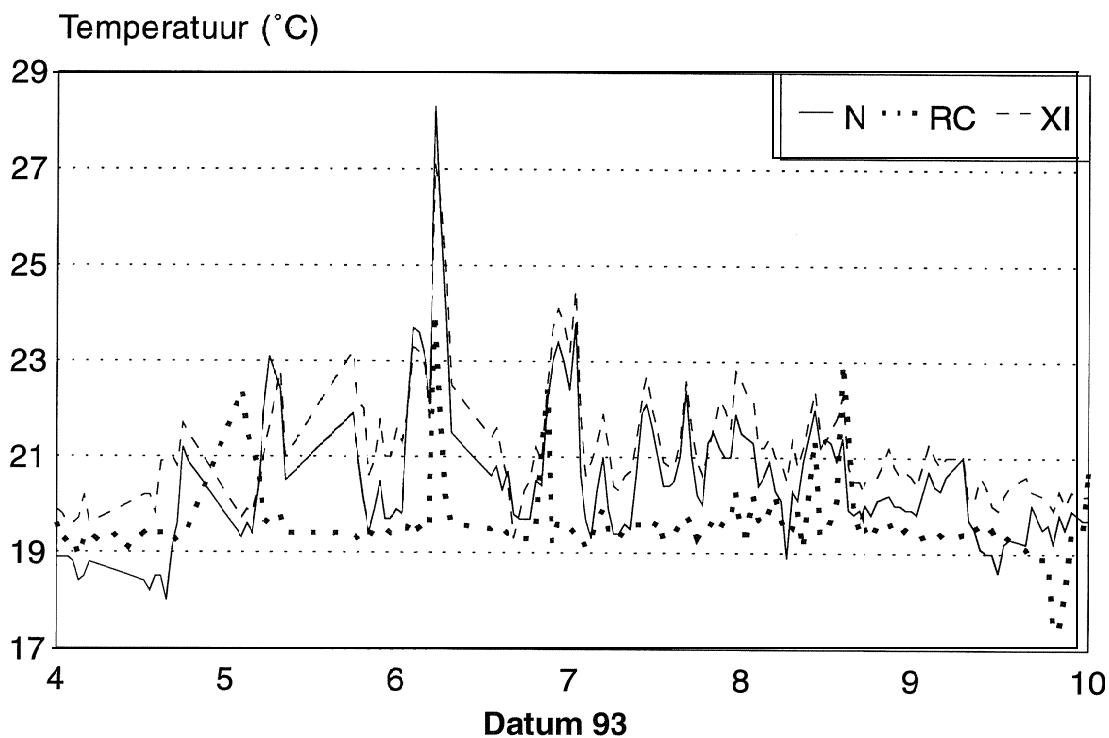
deze metingen zijn weergegeven in figuur 13. Hieruit blijkt, dat de hoeveelheid lucht die wordt ververst (ventilatiehoeveelheid) in de afdeling met recirculatie constant 140 m³/h bedraagt. In figuur 14 en tabel 1 zijn de ventilatiehoeveelheden in de drie afdelingen weergegeven. De hoeveelheid recirculatielucht is ook weergegeven in figuur 14; deze bedroeg gemiddeld 970 m³/h.



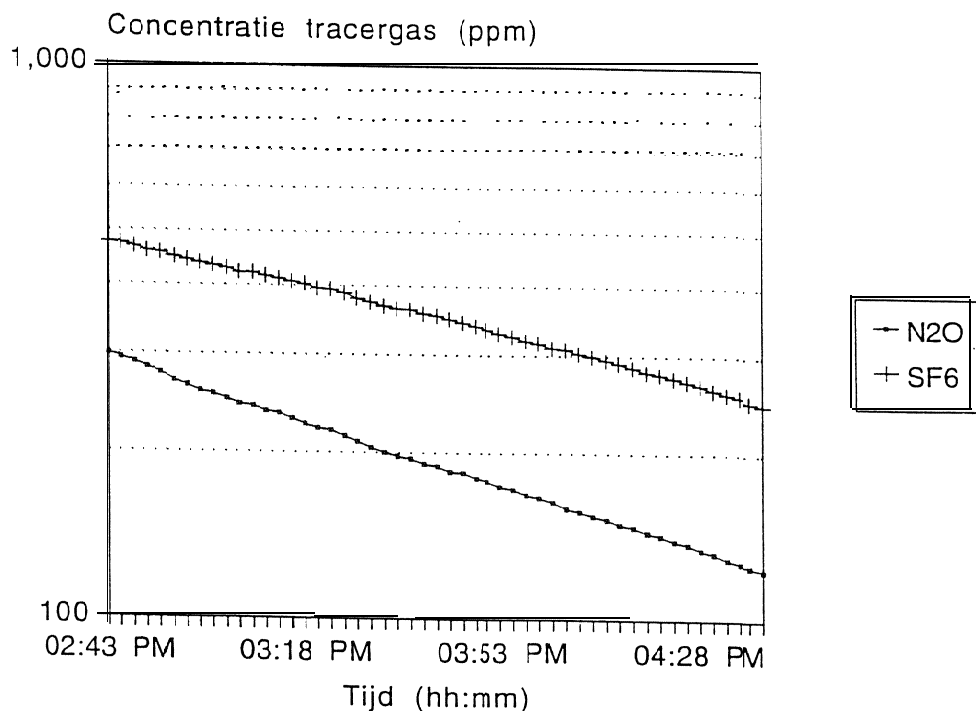
Figuur 11: Ammoniakomzetting als functie van de tijd

Tabel 1: Gemiddelden van temperatuur en ventilatie in de drie proefafdelingen van januari tot oktober 1993

	afdeling met recirculatie	referentie afdeling	afdeling met extra isolatie
Temperatuur (°C)			
gemiddeld	19,6	20,5	21,2
minimum	16,3	16,4	18,7
maximum	27,9	29,6	28,6
st. afw.	09 ,	1,8	1,5
Ventilatie (m³/h)			
gemiddeld	140	2.305	2.662
minimum	140	538	607
maximum	140	4.105	3.920
st.afw.	0	992	733



Figuur 12: De gemiddelde temperatuur per etmaal in de referentie-afdeling (N), in de dekaafdeling met recirculatie (RC) en in de afdeling met extra isolatie (XI)



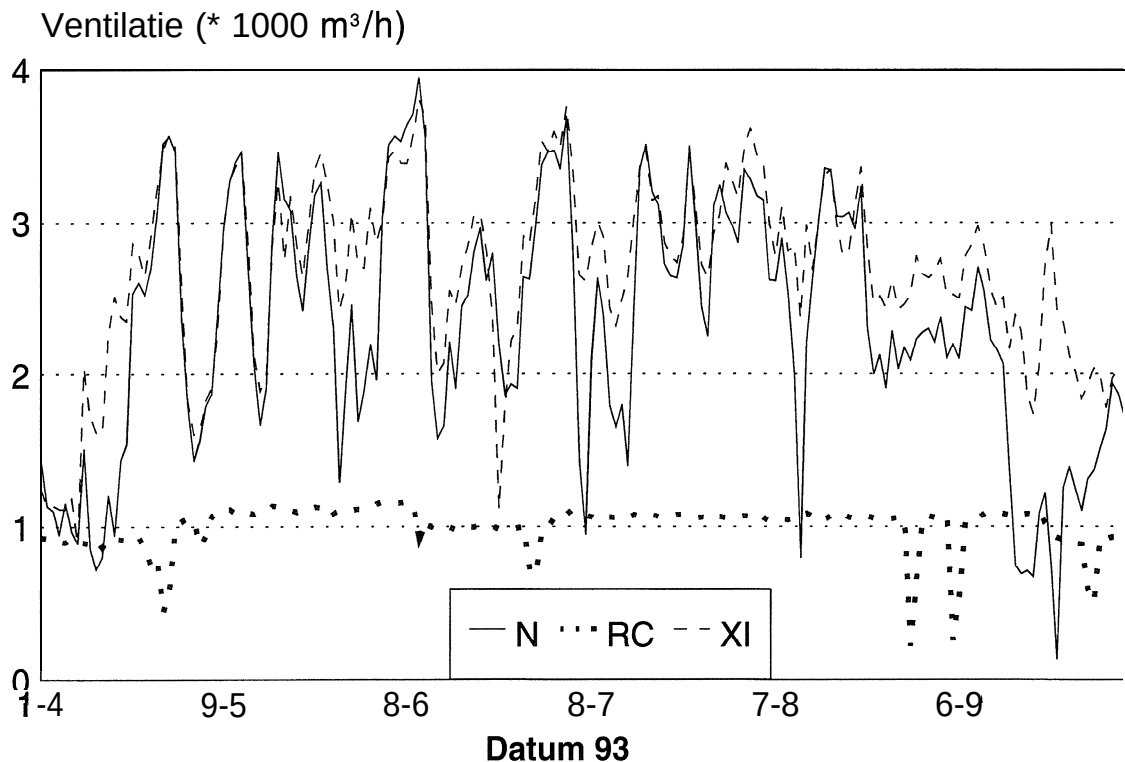
Figuur 13: Afname van de tracergasconcentratie in de afdeling met recirculatie na injectie van tracergas

3.2.2 Ammoniak, kooldioxyde, methaan, distikstofoxyde en waterdamp

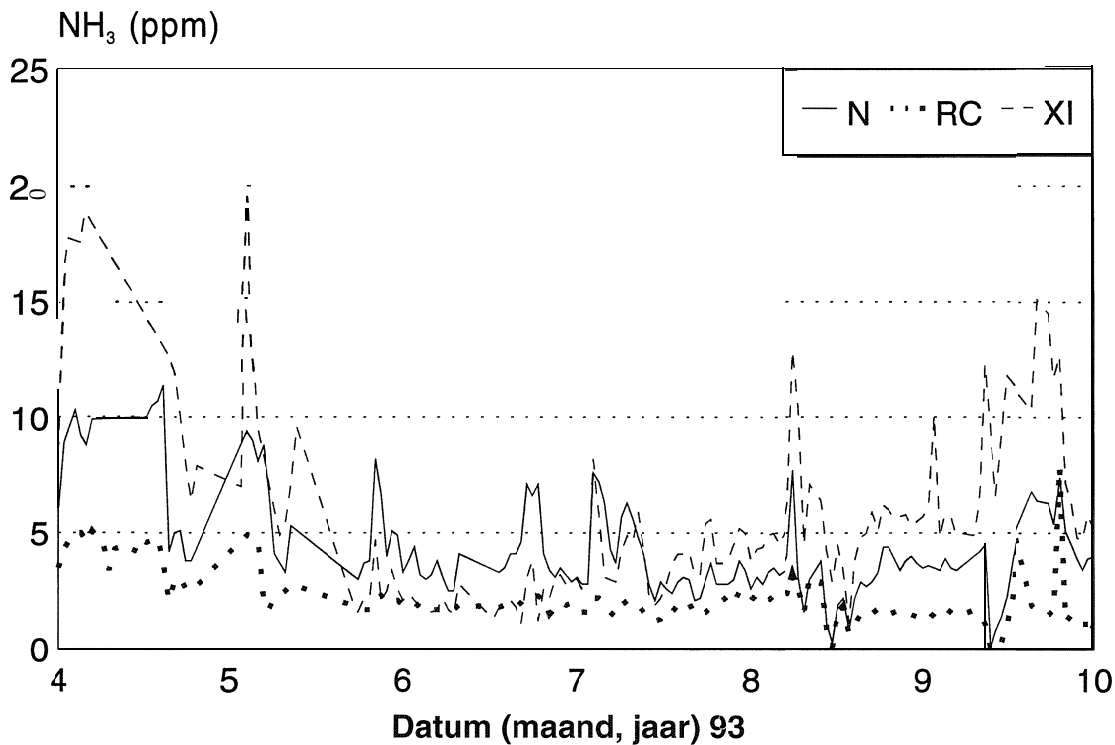
In de referentie-afdeling is gemiddeld de hoogste concentratie ammoniak gemeten. In de extra geïsoleerde afdeling is een zeer lage ammoniakconcentratie gemeten, naast de eveneens zeer lage concentraties CO_2 en CH_4 . In deze afdeling is het waarschijnlijk dat de stallucht verdund is met buitenlucht voordat deze bemonsterd is. De concentraties van CO_2 , CH_4 en NH_3 zouden in de referentie-afdeling en de extra geïsoleerde afdeling ongeveer gelijk dienen te zijn aangezien alleen de mate van isolatie tussen de twee afdelingen verschilt. De productie van CO_2 zal ongeveer gelijk zijn geweest, aangezien er ongeveer evenveel dieren in beide afdelingen aanwezig waren. Met behulp van de CO_2 -concentraties en de ventilatiehoeveelheden zijn de concentraties van de verschillende gassen gecorrigeerd. De gemiddelde gecorrigeerde etmaalconcentratie van ammoniak in de drie afdelin-

gen is weergegeven in figuur 15. De emissie is berekend uit ongeveer 2.000 metingen verricht tussen 1 april 1993 en 4 oktober 1993 als het produkt van de momentane ammoniakconcentratie en de momentane ventilatiehoeveelheid, zie figuur 16. Vóór 1 april 1993 zijn de gemeten concentraties niet representatief voor het laatste recirculatiesysteem omdat het systeem op een aantal punten gewijzigd is. De gegevens na 4 oktober zijn niet correct gemeten door een fout in de meetopstelling.

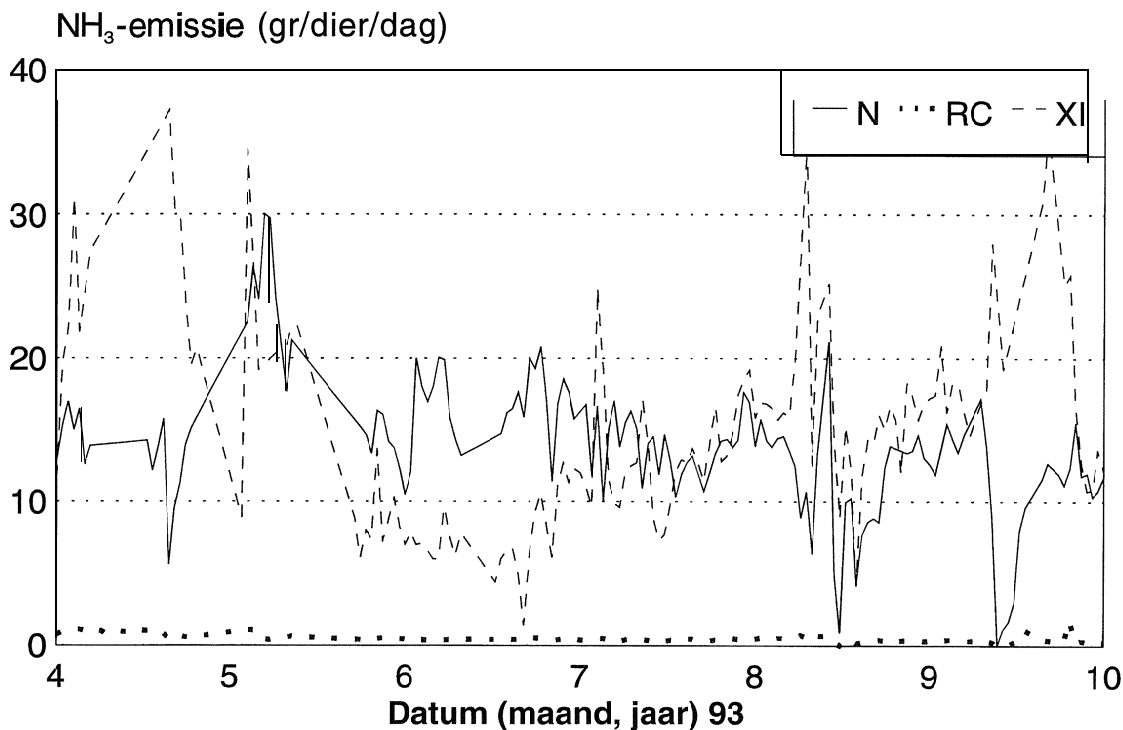
De ammoniakemissie in de afdeling met recirculatie was erg laag en bedroeg 0,2 kg/zeugplaats/jaar. In de beide andere afdelingen was de gemiddelde uitstoot hoger. In de geïsoleerde afdeling was de uitstoot 5,7 kg ammoniak/zeugplaats/jaar en in de referentie-afdeling 5,3 kg. In de zomermaanden was de uitstoot in de extra geïsoleerde afdeling lager dan in de referentie-afdeling en in de wintermaanden hoger. De grotere uitstoot in de winterperio-



Figuur 14: De ventilatie- en recirculatiehoeveelheid van de referentie-afdeling (N), de dekalafdeling met recirculatie (RC) en de afdeling met extra isolatie (XI) als etmaalgemiddelden over de periode april tot oktober 1993 in drie dekalafdelingen



Figuur 15: De gemiddelde gecorrigeerde etmaalconcentratie van ammoniak in de drie afdelingen



Figuur 16: De ammoniakuitstoot in de drie afdelingen

de in de extra geïsoleerde afdeling werd veroorzaakt door de gemiddeld hogere afdelingstemperatuur in combinatie met een groter ventilatiedebiet. In de referentie-afdeling was de gemiddelde ammoniakconcentratie 6,1 ppm, in de afdeling met recirculatie 3,2 ppm en in de extra geïsoleerde afdeling 5,3 ppm. De gemiddelde ventilatiehoeveelheid in de referentie-afdeling was 153 m³/dier/uur, in de afdeling met luchtre-circulatie 9 m³/dier/uur en in de geïsoleerde afdeling 177 m³/dier/uur.

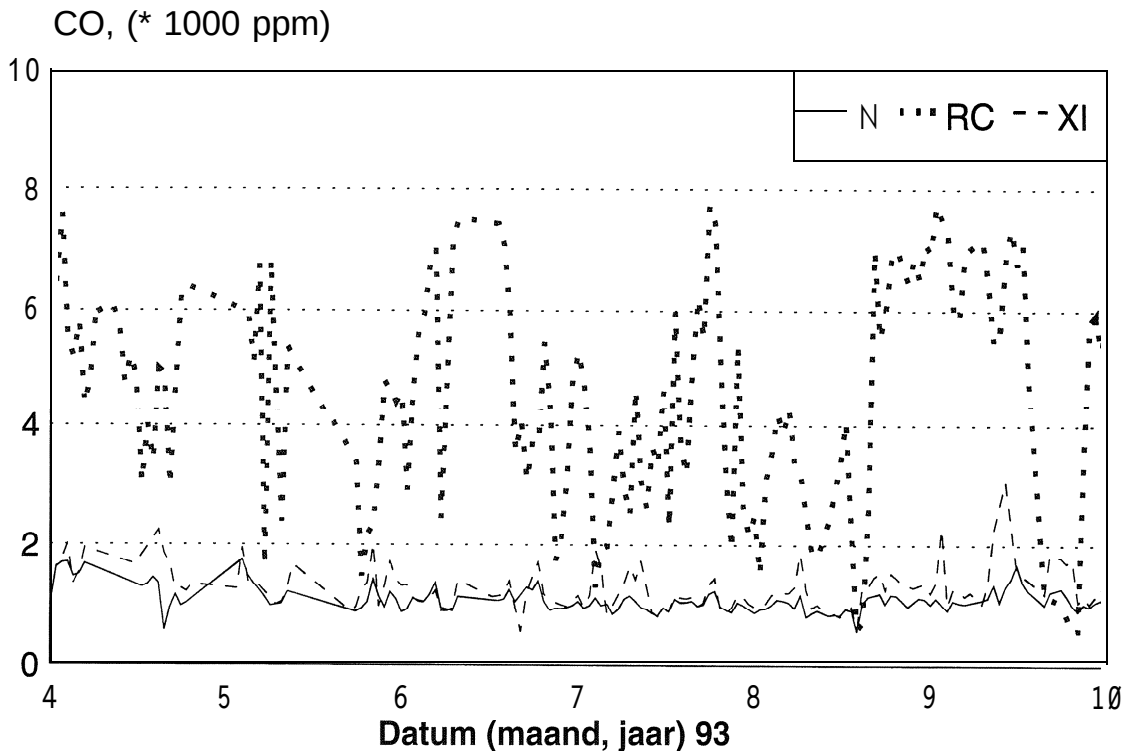
De gemiddelde dagconcentraties aan kool-dioxyde, methaan, distikstofoxyde en water-damp zijn weergegeven in figuren 17 tot en met 20.

De kooldioxydeconcentratie in de afdeling met recirculatie heeft hoge waarden bereikt (maximaal 7.800 ppm, gemiddeld 4.550 ppm), alvorens een evenwicht werd bereikt tussen productie en afvoer. Dit hing samen met de geringe hoeveelheid ventilatie in deze af-deeling. De concentratie heeft echter geen waarden bereikt van 20.000 ppm, wat in de literatuur wordt aangegeven als een waarde

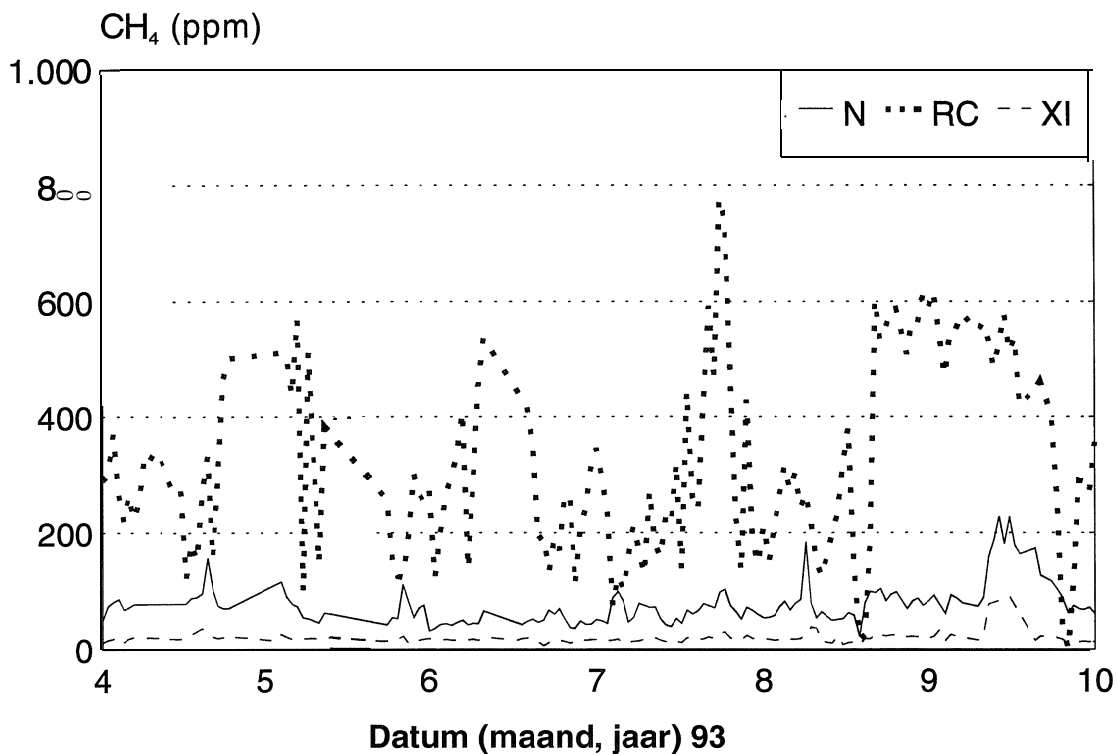
waarboven nadelige effecten voor varkens zijn waargenomen (Van 't Klooster et al., 1989).

De methaanconcentratie was een evenwicht tussen de methaanproductie uit de mest en de afvoer door ventilatie. In de afdeling met recirculatie werd de concentratie veel hoger (gemiddeld 316 ppm) dan in beide andere afdelingen (gemiddeld 65 ppm) omdat de hoeveelheid ventilatie in deze afdeling erg laag was. De concentratie methaan bereikte zeker niet de explosiegrens van 50.000 ppm. De concentratie lachgas is in alle afdelingen erg laag. In de afdeling met recirculatie is de concentratie hoger dan in beide andere afdelingen. Dit wordt veroorzaakt door de kleinere verversing van de afdelingslucht. De totale uitstoot is ook voor de afdeling met recirculatie beperkt omdat de ventilatie-hoeveelheid laag ligt. In de tweede helft van het jaar is de concentratie lachgas in de afdeling met recirculatie lager omdat de ventilatiehoeveelheid in het tweede deel van het jaar iets hoger ligt.

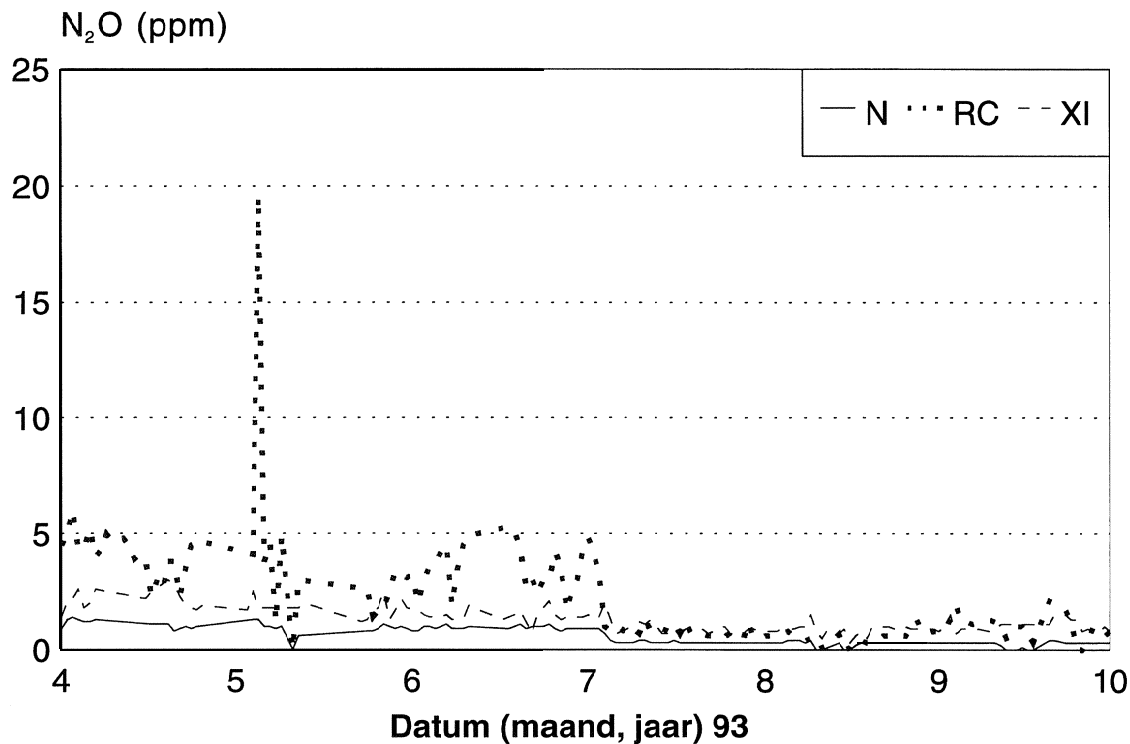
De waterdampgehalten zijn in figuur 20



Figuur 17: De gemiddelde etmaalconcentratie van kooldioxyde in de drie afdelingen



Figuur 18: De gemiddelde etmaalconcentratie van methaan in de drie afdelingen



Figuur 19: De gemiddelde etmaalconcentratie van lachgas in de drie afdelingen

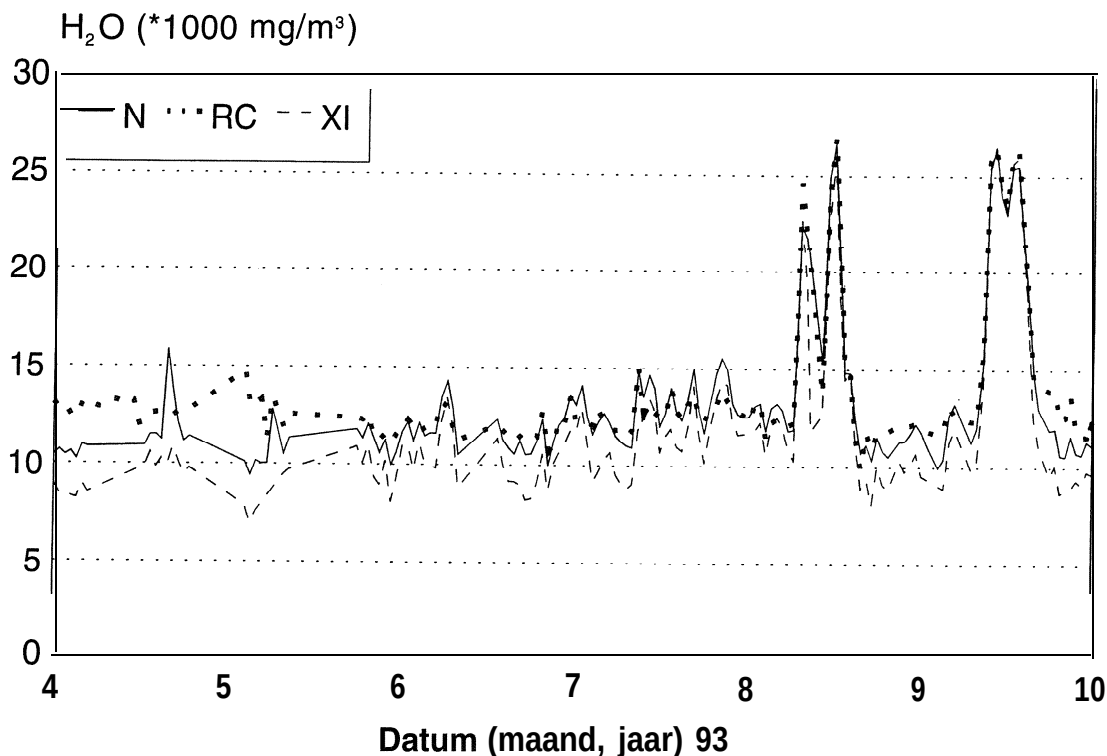
gegeven in absolute hoeveelheden (g/m^3) en niet als relatieve luchtvochtigheid. De onderlinge verschillen in absolute vochtgehalten tussen de drie afdelingen zijn klein. Omdat in de afdeling met recirculatie de luchttemperatuur over het algemeen lager is, zal de relatieve luchtvochtigheid in de afdeling met recirculatie over het algemeen hoger zijn dan in de beide andere afdelingen.

3.2.3 Screening op overige stalluchtcomponenten

In de afdeling met het recirculatiesysteem was de ammoniakconcentratie lager dan in de referentie-afdeling, namelijk $7,1 \text{ mg/m}^3$ ten opzichte van $1,3 \text{ mg/m}^3$. De concentratie H_2S in de afdeling met recirculatie was tienmaal lager dan in de referentie-afdeling, respectievelijk $0,5 \text{ mg/m}^3$ en $0,05 \text{ mg/m}^3$. Tijdens het recirculeren werden deze gasen grotendeels uit de lucht verwijderd in het biotricklingfilter. Ze kwamen in het waswater in de vorm van nitraat en sulfaat voor. Aziijnzuur en andere vluchtige vetzuren zijn

niet aangetoond in de stallucht. Dat wil zeggen dat de concentratie hiervan lager is geweest dan 5 mg/m^3 . Schaefer et al. (1974) vonden een concentratie aziijnzuur van $6,7 \text{ mg/m}^3$, andere onderzoekers hebben meestal lagere waarden gemeten. Voor fenol in varkensstallen zijn volgens de literatuur concentraties tot $65 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ gemeten. Voor p-cresol worden waarden tot $75 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ genoemd in de literatuur. De concentraties van deze gassen in de referentie-afdeling en in de stal met het recirculatiesysteem waren ongeveer even hoog.

Hogere organische vetzuren konden niet worden aangetoond. Deze gassen hebben hele lage geurdrempels. Dat wil zeggen dat ze in hele lage concentraties ($< 0,01 \text{ mg/m}^3$) reeds te ruiken zijn. Deze gassen hebben een sterke onaangename geur. De geur in de afdeling met recirculatie was te omschrijven als een vochtige lucht (relatieve luchtvochtigheid is ongeveer 10% hoger dan in de referentie-afdeling), waar men de typische "varkenslucht" niet ruikt. Of de aanwezige geur al dan niet als prettiger wordt



Figuur 20: Waterdampgehalten van de stallucht in de drie afdelingen

ervaren, zal afhangen van persoonlijke voorkeur en van gewinning. Butylacetaat kwam in de stal met het recirculatiesysteem in duidelijk hogere concentraties voor, $\pm 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan in de referentie stal, $\pm 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, maar bleef toch ver onder de toelaatbare concentratie van $710.000 \text{ mg}/\text{m}^3$. Xyleen kwam in de afdeling met het recirculatiesysteem in veel hogere concentraties voor, $\pm 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan gemeten is door Miner & Hazen (1975). De maximaal toelaatbare concentratie bedraagt echter $534.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dus ook in de afdeling met het recirculatiesysteem leverden de gemeten concentraties geen enkel probleem op. Alkanen zijn in lage concentraties ($<100.000 \text{ mg}/\text{m}^3$) vrij ongevaarlijke gassen. Methoxypropylacetaat wordt in de literatuur niet genoemd als gas dat in stallen voor kan komen. Een sterk verwant gas, methoxyethylacetaat heeft een maximaal toelaatbare concentratie van $120.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. (Anon., 199311)

3.3 Energiegebruik

Het energieverbruik in de afdeling met recirculatie is gemeten en vergeleken met de referentie-afdeling en de extra geïsoleerde afdeling. Het energieverbruik is in vier categorieën onderscheiden:

- ventilatie c.q. recirculatie;
- ammoniakbehandeling;
- thermische conditionering;
- desinfectie lucht.

3.3.1 Afdeling met recirculatie

De analyse is gebaseerd op het elektriciteitsverbruik gedurende de periode van 4 mei

1993 tot en met 4 december 1993. In deze periode van 214 dagen zijn totaal 26.326 kWh verbruikt. In tabel 2 is het energieverbruik opgesplitst naar de diverse procesonderdelen en naar de twee fasen waarin de proef verdeeld kan worden. Tijdens de eerste fase van de proef, van 4 mei tot 4 augustus 1993, bleek dat de installatie niet altijd optimaal functioneerde. De hoofdventilator draaide met een te grote capaciteit en de gebruikte dompelaars en de verwarmingsunit bleken overbodig. Het energieverbruik van deze elementen is dan ook niet meegenomen bij de berekeningen van het totale energieverbruik per jaar. In de tweede fase, 4 augustus tot 4 december zijn de dompelaars en de verwarmingsunit losgekoppeld. Door deze aanpassingen is aanzienlijk minder energie verbruikt.

In de geklimatiseerde dekstal was een hoofdventilator, vermogen 800 W, geïnstalleerd voor de recirculatie van de lucht. Deze ventilator had vijf standen. Tijdens de proefperiode heeft deze tijdens de eerste fase op stand vijf gedraaid en tijdens de tweede periode op stand twee. De ventilator nam in stand vijf het volle vermogen op en in stand twee 500 W. Tevens zijn er twee kleine ventilatoren geïnstalleerd die voor de afvoer van recirculatielucht en toevoer van verse lucht zorgden. Deze kleine ventilatoren hadden beide een vermogen van 10 W. Uitgaande van de tweede situatie verbruikten de drie ventilatoren tezamen 4.555 kWh per jaar

In de afdeling met recirculatie werd continu $140 \text{ m}^3/\text{uur}$ ververs en $970 \text{ m}^3/\text{uur}$ gerecirculeerd. In deze afdeling hoefde niet ver-

Tabel 2: Elektriciteitsverbruik proefopstelling afdeling met recirculatie

component	4 mei - 4 aug.		4 aug. - 4 dec.	
	vermogen	verbruik	vermogen	verbruik
koelmachine	4.800 W	5.652 kWh	4.800 W	5.622 kWh
hoofdventilator	800 W	1.766 kWh	500 w	1.464 kWh
suppletieventilatoren	20 w	44 kWh	20 w	59 kWh
circulatie pomp	500 w	1.104 kWh	500 w	1.464 kWh
UV,-lampen	180W	397 kWh	180W	527 kWh
verwarmingsunit	1.000 W	460 kWh	buiten werking	
dompelaars	2.000 w	3.312 kWh	buiten werking	
verwarmingslint	3.360 W	2.473 kWh	3.360 W	2.009 kWh

warmd te worden aangezien de warmteproductie van de dieren circa 2.700 W hoger was dan de hoeveelheid warmte die via transmissie en ventilatie werd afgevoerd. De overtollige warmte moest afgevoerd worden door koeling. Tevens werd de koeling gebruikt om de luchtvochtigheid constant te houden. De benodigde capaciteit van de koelinstallatie werd hoofdzakelijk bepaald door het aantal dieren, de isolatiewaarde van de stal en de gewenste klimaatparameters. De laatst geïnstalleerde koeling verbruikte op jaarbasis 18.232 kWh.

Het gebruikte biotricklingfilter had een lage weerstand en het gewenste debiet was kleiner dan in de referentie-afdeling zodat het benodigde vermogen van de ventilator niet zoveel groter behoeft te zijn dan bij de referentie-afdeling.

De circulatiepomp was de enige directe energieverbruiker van het biotricklingfilter. Deze pomp had een vermogen van 500 W. De ammoniakbehandeling ging continu door. Per jaar werd 4.380 kWh aan stroom verbruikt voor de ammoniakbehandeling. Op basis van een emissie van 5,3 kg NH₃ per zeugplaats betekent dit dus een energieverbruik van 55 kWh/kg NH₃. Desinfectie vond plaats door middel van UV_C-straling in de voorruimte om alle ziektekiemen te doden. Het betrof lampen met een vermogen van 180 W, die continu branden. Het jaarlijks stroomverbruik was 1.576 kWh.

3.3.2 Referentie-afdeling

Volgens de huidige normen is voor een afdeling met 15 zeugen een maximale ventilatiecapaciteit van (15 maal 150 m³/uur) 2.250 m³/uur nodig. Afhankelijk van de weerstand in het ventilatiesysteem kan een ventilator met een diameter van 30 cm en een vermogen van 100 W deze hoeveelheid lucht verplaatsen. Voor een adequate regeling van de ventilatiehoeveelheid dient de ventilatiekoker te zijn voorzien van een smoorklep en de ventilator van een spanningsregelaar. De ventilator draait continu en verbruikt jaarlijks 876 kWh.

Het energieverbruik in de referentie-afdeling kan betrouwbaar ingeschat worden door gebruik te maken van de resultaten van de energiemetingen die jarenlang op het Proefstation voor de Varkenshouderij te Rosma-

len hebben plaatsgevonden. Uit deze gegevens blijkt dat voor de verwarming, inclusief de voorverwarming van de centrale gang, in een normale dekaafdeling 365 kWh per zeug moet worden berekend.

3.3.3 Extra geïsoleerde afdeling

Voor de extra geïsoleerde afdeling is evenals voor de referentie-afdeling het energieverbruik berekend. Ook bij deze afdeling dient uitgegaan te worden van de norm voor ventilatie, een maximale ventilatiecapaciteit van (15 maal 150 m³/uur) 2.250 m³/uur is dan ook noodzakelijk. In deze afdeling kan dus ook volstaan worden met een ventilator met een diameter van 30 cm en een vermogen van 100 W. De ventilator draait continu en verbruikt dus jaarlijks 876 kWh.

Voor de verwarming, inclusief de voorverwarming van de centrale gang, moet in een normale dekaafdeling 365 kWh per zeug worden berekend. Voor de extra geïsoleerde afdeling moet gerekend worden op ruim 250 kWh per zeug per jaar. Dit is aanzienlijk lager doordat er minder verwarmd hoeft te worden dan in een normale dekaafdeling. Enerzijds doordat er minder vaak gestookt hoeft te worden, de stookgrens ligt lager. Anderzijds doordat er door de extra isolatie minder transmissie optreedt door de grotere weerstand van de wanden en het dak.

In tabel 3 is het energieverbruik, omgerekend naar jaarverbruik, gegeven voor de afdeling met recirculatie van stallucht, de referentie-afdeling en de extra geïsoleerde afdeling.

3.3.4 Mogelijke aanpassingen afdeling met recirculatie

In deze paragraaf zijn mogelijke aanpassingen voor het recirculatiesysteem op een rijtje gezet naar aanleiding van de opgedane ervaringen met het BB-Air Recycling systeem.

De ventilator die in de afdeling met recirculatie was geïnstalleerd, was overgedimensioneerd. Een ventilator met een vermogen van 370 W is voldoende om de benodigde lucht te recirculeren en alle weerstand in het systeem te overbruggen. Dit levert een besparing op van 3.942 kWh per jaar. In de afdeling met luchtrecirculatie zijn luchtmonsters genomen. Om te voorkomen dat er condensatie optrad in de luchtslan-

gen was er in deze afdeling 2 x 6,7 m (1/3 van totale lengte) verwarmingslint geïnstalleerd. De door het verwarmingslint geproduceerde warmte dient ook door de koeling te worden afgevoerd. Door het verwarmingslint buiten de afdelingen te houden en gebruik te maken van een kleinere koeler kan het energieverbruik verminderd worden tot 5.059 kWh per jaar voor de afdeling met recirculatie.

Aangezien de meeste energie nodig is voor het koelen van de lucht, kan een alternatieve wijze van koelen interessant zijn. Toepassing van grondbuizen of een warmtewisselaar met grondwater, zoals in eerste instantie gepland was, behoren tot de mogelijkheden. Als de benodigde buitenlucht voor de grondbuizen aan de gerecirculeerde lucht wordt toegevoegd dan is er geen extra koeling nodig. In de laatste situatie werd de buitenlucht na de koeling aan de gerecircu-

leerde lucht toegevoegd. Door het gebruik van grondbuizen kan binnen de proefsituatie een energiebesparing van 5.059 kWh worden gerealiseerd. Door reconstructie van het biotricklingfilter kan voor de circulatie van het water een pomp met een vermogen van 370 W volstaan. Het energieverbruik van het biotricklingfilter kan op deze wijze gereduceerd worden tot 3.241 kWh per jaar, een reductie van 1.139 kWh. Het energieverbruik per kilogram ammoniak wordt dan 41 kWh, uitgaande van een emissie van 5,3 kg NH₃ per zeugplaats. Indien alle bovengenoemde energiebesparingsmogelijkheden benut worden dan kan 1.379 kWh per zeug per jaar bespaard worden, waardoor het verbruik nog 537 kWh bedraagt. Een overzicht van het bovengenoemde is in tabel 4 weergegeven.

Tabel 3: Energieverbruik in de proefafdelingen tijdens het onderzoek

component	recirculatie		referentie		extra geïsoleerd	
	vermogen	verbruik per jaar	vermogen	verbruik per jaar	vermogen	verbruik per jaar
ventilatoren	500 w	4.555 kWh	100 W	876 kWh	100W	876 kWh
pomp biotricklingfilter	500 W	4.380 kWh	-			
koeling/verwarming	4.800 W	18.232 kWh	-	5.475 kWh	-	3.518 kWh
UV,-lampen	180W	1.577 kWh	-			
totaal		28.744 kWh		6.351 kWh		4.394 kWh
per zeugplaats		1.916 kWh		423 kWh		293 kWh

Tabel 4: Energieverbruik dekafdeling met recirculatie na optimalisatie

component	met grondbuizen*		zonder grond buizen	
	vermogen	verbruik per jaar	vermogen	verbruik per jaar
ventilatoren	370 w	3.241 kWh	370 w	3.241 kWh
pomp biotricklingfilter	370 w	3.241 kWh	370 w	3.241 kWh
koeling/verwarming	-		4.228 W	5.059 kWh
UV _c -lampen	180W	1.577 kWh	180W	1.577 kWh
totaal		8.059 kWh		13.118 kWh
per zeugplaats		537 kWh		874 kWh

* Situatie waarbij de luchtverversing voor de grondbuizen plaatsvindt

3.3.5 Evaluatie energieverbruik

De in de voorgaande paragrafen behandelde opties voor een geklimatiseerde dekafdeling kunnen met elkaar vergeleken worden wat betreft het verbruik en de kosten van energie (tabel 5).

De referentie-afdeling en de extra geïsoleerde afdeling hebben het laagste energieverbruik. Het grootste deel is afkomstig van de centrale verwarming, en dus indirect van aardgas, en het overige is elektrische energie. Bij de berekeningen is uitgegaan van f 0,50 per m³ aardgas en f 0,18 per kWh (IKC-veehouderij, 1992).

Omdat de energiekosten per kWh afkomstig van aardgas veel lager zijn dan van elektriciteit, ± 40%, zijn de energiekosten van de referentie-afdeling veel lager dan die van de afdeling met recirculatie. Door de toepassing van de energiebesparingsopties in de afdeling met recirculatie kan per zeugplaats ongeveer f 248,- bespaard worden op jaarbasis ten opzichte van de in het onderzoek gemaakte kosten voor elektriciteit. Dit is echter nog f 58,- meer per zeugplaats per jaar dan in de referentie-afdeling en f 68,- meer dan in de extra geïsoleerde afdeling.

3.4 Diergegevens

3.4.1 Gezondheid en uitval

Tijdens het verblijf van de zeugen in de dekafdelingen hebben zich geen bijzondere gezondheidsproblemen voorgedaan. Voordat de zeugen werden gespeend, werd bekeken of de dieren werden aangehouden dan wel moesten worden opgeruimd. Zeugen die uitgeselecteerd werden, zijn buiten het onderzoek gehouden. Zieke dieren en behandelingen in de dekstal kwamen niet of nauwelijks voor. In de dekafdelingen zijn geen zeugen afgevoerd. Wanneer zeugen

uitvallen is dit meestal een gevolg van vruchtbaarheidsproblemen. Alle zeugen, die tussen spenen en de opvolgende worp zijn uitgevallen, zijn uitgevallen tijdens de dracht na overplaatsing naar de afdelingen voor dragende zeugen.

3.4.2 Produktieresultaten

In tabel 6 worden de produktieresultaten weergegeven. Hieruit blijkt, dat het gemiddelde worpnummer van de zeugen in de drie afdelingen ongeveer gelijk is geweest. Uit de resultaten in tabel 6 blijkt dat er significante verschillen bestaan tussen de referentie-afdeling en de afdeling met recirculatie voor wat betreft het interval spenen - werpen. Bij zeugen die in de afdeling met recirculatie gehuisvest zijn geweest is het interval gemiddeld vier dagen langer dan bij zeugen die in de referentie-afdeling gehuisvest zijn geweest.

3.5 Bedrijfsvoering

In de afdeling met recirculatie, waar in een kring van processen het klimaat wordt geregeld, zal bij een storing in één van de processen de totale kring verstoord worden. Storingen zijn nooit uit te sluiten, In de afdeling met recirculatie is daarin voorzien doordat bij storing de klimaatcomputer een noodluik opent dat ook wordt geopend bij spanningsuitval. Dit noodluik zorgt weliswaar niet voor een optimaal klimaat in de stal, maar voorkomt een levensbedreigende situatie voor de dieren. Dit noodstelsel bleek tijdens het onderzoek zeer bevredigend te functioneren. Voor een optimaal klimaat is het echter wenselijk de storingsfrequentie terug te dringen tot een incidentele gebeurtenis, die hoogstens enkele malen per jaar voorkomt. De kosten van de kli-

Tabel 5: Energiekosten per zeugplaats per jaar

	verbruik		kosten
	elektra	gas	
referentie-afdeling	58 kWh	365 kWh	f 39,00
extra geïsoleerde afdeling	58 kWh	235 kWh	f 29,28
recirc. afd., tijdens onderzoek	1.916 kWh		f 344,88
recirc. afd., opt. zonder grondbuizen	874 kWh		f 157,32
recirc. afd., opt. met grondbuizen	537 kWh		f 96,66

maatregeling in de afdeling met recirculatie zijn hoger dan in conventionele stallen. Dit komt met name doordat meer geïsoleerd moet worden, de ammoniak uit de lucht wordt verwijderd en koelvoorzieningen moeten worden getroffen. Ook andere oplossingen die de uitstoot van ammoniak reduce-

ren, brengen extra kosten met zich mee. Dit geldt zowel voor snelle mestafvoersystemen als voor luchtzuiveringstechnieken. Een praktijkrijpe toepassing van de afdeling met luchtrecirculatie zal qua exploitatiekosten een aantrekkelijk alternatief moeten zijn om een plaats op de markt te veroveren.

Tabel 6: Produktieresultaten

	Referentie (N)	Recirculatie (RC)	Extra Geïsoleerd (XI)	SEM ¹	Significantie S
aantal gedekte zeugen	161	172	155		
gemiddeld worpnummer	5,3	5,1	5,3		
percentage NL-zeugen	21	13 ¹	25 ¹		
percentage eersteworpszeugen	19	27	23		
gewicht bij werpen (kg)	193	192	197	8	NS
percentage overinseminaties	21,7	23,8	16,1		NS
percentage 1 ^e herinseminaties	9,0	15,1	12,3		NS
- waarvan herinsem.binnen 28 dagen	5,4	5,2	6,5		NS
- in % van aantal 1 ^e herinsem.	60,0	34,6	52,6		
percentage 2 ^e herinseminaties	0,0	0,0	0,0		2
dagen spenen - eerste inseminatie	6,1	6,7	7,4		NS
aantal dagen in dekstal (totaal)	28	32	32		
aantal zeugen geworpen	136	157	140		
dagen spenen - werpen	122 ^a	126 ^b	125 ^{ab}	5	*
totaal geboren biggen	11,9	12,2	12,1	1,1	NS
levend geboren biggen	11,1	11,4	11,2	10,	NS
dood geboren biggen	0,8	0,8	0,9	0,5	NS
begin-aantal biggen (na overleggen)	11,0	10,9	11,1	08,	NS
gespeende biggen	10,0	9,9	98,	0,5	NS

¹ = Standaard error van het gemiddelde

² = Aantal te laag om te mogen toetsen

NS = niet significant ($p \geq 0,05$)

* = $0,05 > p > 0,01$

4 PERSPECTIEVEN

Dit onderzoek heeft geleerd dat, zelfs na een technische optimalisatie, klimatisering van varkensafdelingen extra energie vergt. De luchtbehandeling kost meer energie dan er door de geringere ventilatie en verwarming wordt bespaard. De enorme beperking van de ammoniakemissie tot 95% is facinerend. In bedrijfssituaties waar zo'n grote reductie bereikt moet worden, verdient deze optie zeker aandacht. Relatieve kostenreductie door schaalvergroting is realiseerbaar. Overschakeling naar koeling met behulp van grondwater of met behulp van grondbuizen ten opzichte van de mechanische koeling lijkt de toepasbaarheid aanzienlijk te vergroten. Ervaringen met de combinatie van grondwaterkoeling of grondbuizen met recirculatie zijn nog niet opgedaan.

4.1 Recirculatie op praktijkschaal

Het geïnstalleerde recirculatiesysteem is niet goed gedimensioneerd. Voor het opstarten van de proef moesten er veel aannames gedaan worden. Tijdens de proef bleek dat deze bijgesteld moesten worden (zie § 2.6). Het aanwezige systeem is overgedimensioneerd. In deze paragraaf zullen voor een afdeling met 60 plaatsen de perspectieven worden bekeken. Een dekstal met 60 zeugenplaatsen past op een vermeerderingsbedrijf met ongeveer 265 zeugen. In een praktijkinstallatie worden geen verwarmingsunit, dompelaars en verwarmingslint gemonteerd. Deze componenten waren wel noodzakelijk in de proefopzet.

De extra kosten voor een dekstal met recirculatie bestaan uit de kosten voor klimatisering, extra isolatie, centrifugaal in plaats van axiaalventilator, biotricklingfilter en UV_c-lampen. Alle in dit hoofdstuk genoemde prijzen zijn gebaseerd op nieuwbouw en inclusief B.T.W.

De geldende standaard voor investeringsbedragen ten behoeve van klimatiseringssystemen bedraagt **f 1.000,-** per kW geïnstalleerd vermogen. Voor een dekstal met 60 plaatsen kan de koellast met behulp van de volgende formule berekend worden:

$$Q_v = m \cdot \Delta h$$

Met:

$$Q_v = \text{koelvermogen} \quad [\text{kW}]$$

$$m = \text{massastroom lucht} \quad [\text{kg/s}]$$

$$\Delta h = \text{enthalpieverschil per kg lucht} \quad [\text{kJ/kg}]$$

In de proefopstelling werd 1.110 m³/h lucht verplaatst, per dierplaats dus 75 m³/h. Voor de hier berekende praktijksituatie moet dus 4.500 m³/h gekoeld worden. Het soortelijk gewicht van lucht is onder de in de dekstal geldende omstandigheden 1,2 kg/m³. De koeler moet de lucht van 21°C, 90% RV conditioneren naar 14,5°C, hierbij treedt condensatie op. Met behulp van de bovenstaande gegevens en het mollierdiagram volgt dat de koellast 21 kW bedraagt. Het totaal geïnstalleerde vermogen was de koellast en het aandrijfvermogen van de koelcompressor samen. Het benodigde aandrijfvermogen van de compressor bedraagt 5,5 kW, hierdoor wordt het totaal geïnstalleerde vermogen 26,5 kW. De kosten voor de klimatisering van een afdeling met 60 plaatsen zijn dan ongeveer **f 26.500,-**.

Er kan ook gekozen worden voor grondbuizen of een grondwaterkoeler in plaats van een mechanische koeler (zie § 3.3.4). Bij gebruik van grondbuizen kan de temperatuur van de inlaatlucht niet geregeld worden. Echter, doordat de temperatuur van de lucht die zich voor de grondbuizen bevindt (90% stallucht) vrij constant is, zal de inlaattemperatuur zeer constant zijn. De inlaattemperatuur zal de gewenste temperatuur benaderen indien er voor een goede afstemming van de capaciteit van de grondbuizen en het recirculatiesysteem zorg wordt gedragen. De inlaattemperatuur kan bij gebruik van een grondwaterkoeler geregeld worden door de flow van het grondwater door de warmtewisselaar te variëren. De extra kosten voor grondbuizen zijn **f 12.000,-** en voor een grondwaterkoeler **f 19.000,-**. Bij gebruik van grondbuizen is het energieverbruik voor koeling nihil; bij gebruik van de grondwaterkoeler komt het energieverbruik voor rekening van de grondwaterpomp die een vermogen heeft

van 750 W. Er bestaat een kleine kans bij gebruik van grondbuizen dat deze lek raken en vollopen met grondwater, hierdoor wordt de gehele ventilatie geblokkeert. Daarom dient men te zorgen voor een goed afvoersysteem voor het condenswater en mogelijke grondwater. Bij gebruik van een grondwaterkoeler bestaat de kans dat deze kapot vriest onder winterse omstandigheden. Er dient dan ook voor gezorgd te worden dat bij vorst water door de warmtewisselaar stroomt.

De kosten voor extra isolatie zullen ongeveer f 15.000,- bedragen.

Door kleine aanpassingen behoeven er in het recirculatiesysteem geen suppletieventilatoren meer te worden toegepast.

De hoofdventilator dient 4.500 m³ lucht per uur te kunnen verplaatsen en onder andere het drukverlies van het leidingsysteem te kunnen overbruggen. Door het te overbruggen drukverschil moet een centrifugaal ventilator in het systeem worden opgenomen; een geschikte ventilator heeft een vermogen van 750 W en kost f 2.350,-.

Een biotricklingfilter van 3 tot 4,5 m³ is nodig om de in de afdelingen geproduceer-

de ammoniak om te zetten. Voor het rondpompen van water over het filter is een pomp noodzakelijk die 0,7 tot 1 m³ water per uur kan rondpompen. Het vermogen van een dergelijke pomp zal tussen de 50 en de 60 W liggen. De prijs voor een biotricklingfilter van deze afmetingen ligt tussen de f 6.000,- en de f 8.500,-.

De kosten voor de noodzakelijke UV_c-lampen liggen ongeveer op f 1.350,-, het benodigde vermogen van de lampen is 240 W.

4.2 Energetische perspectieven

Het energieverbruik bij een geklimatiseerde dekaafdeling met recirculatie komt voornamelijk voor rekening van de koeling, de ventilatie, het biotricklingfilter en de UV_c-lampen. In tabel 7 is het berekende energieverbruik per component aangegeven voor een afdeling met 60 zeugplaatsen.

In de afdeling met recirculatie is het energieverbruik 1.916 kWh per zeugplaats per jaar. Door een juiste dimensionering van de koeler, de ventilatoren en de circulatiepomp van het biotricklingfilter kan het verbruik in

Tabel 7: Energieverbruik afdeling met recirculatie per 60 zeugplaatsen

component	vermogen	draaiuren/dag	energieverbruik per jaar
mechanische koeling	5.500 w	10,5	21.078 kWh
grondwaterkoeling	750 w	10,5	2.874 kWh
grondbuizen			
ventilatoren	750 w	24	6.570 kWh
pomp biotricklingfilter	60 W	24	526 kWh
UV _c -lampen	240 W	24	2.102 kWh

Tabel 8: Overzicht energieverbruik en -kosten per zeugplaats per jaar

	verbruik		kosten
	elektra	gas	
referentie	58 kWh	365 kWh	f 39,00
extra geïsoleerd	58 kWh	235 kWh	f 29,28
recirculatie met mechanische koeling	505 kWh		f 90,90
recirculatie met grondwaterkoeling	201 kWh		f 36,18
recirculatie met grondbuizen	153 kWh		f 27,54

de proefopzet terug gebracht worden tot 874 kWh per zeugplaats per jaar. Door schaalvoordeel en een iets gewijzigde opzet is het energieverbruik in een praktijk-situatie 505 kWh per zeugplaats per jaar, een reductie van ruim 40%. Hieruit blijkt dat een geklimatiseerde afdeling met luchtrecirculatie met name interessant is voor grote vermeerderingsbedrijven.

Een overzicht van het energieverbruik per zeugplaats per jaar voor een afdeling met 60 plaatsen is in tabel 8 gegeven. Toepassing van een grondwaterkoeler in plaats van een mechanische koeler levert een energiebesparing op van 60%. Het gebruik van grondbuizen voor koeling levert zelfs een besparing op van 70% op het totale energieverbruik. Het energieverbruik in een geklimatiseerde afdeling met luchtrecirculatie is lager dan het energieverbruik in de referentie stal en de extra geïsoleerde stal indien gebruik wordt gemaakt van grondwaterkoeling of grondbuizen. Ook zijn de energiekosten lager voor de stal met recirculatie met grondwaterkoeling of grondbuizen dan voor de referentie stal. De energiekosten voor een afdeling met recirculatie en grondbuizen zijn lager dan de energiekosten voor een extra geïsoleerde afdeling.

Tabel 9: Jaarlijkse kosten afdeling per zeugplaats per jaar

soort kosten	referentie	extra geïsoleerd	recirculatie afdeling		
			I	II	III
energiekosten	f 39,-	f 29,-	f 91,-	f 36,-	f 28,-
spuiwater			f 33,-	f 33,-	f 33,-
afschrijving(8%)	f 400,-	f 420,-	f 468,-	f 458,-	f 449,-
onderhoud(1,5%)	f 75,-	f 79,-	f 88,-	f 86,-	f 84,-
rente(7,8%)	f 390,-	f 410,-	f 456,-	f 447,-	f 437,-
Totaal	f 904,-	f 938,-	f 1.136,-	f 1.060,-	f 1.031,-

I = mechanische koeling

II = grondwaterkoeling

III = grondbuizen

4.3 Economische perspectieven

Uit de voorgaande paragraaf blijkt dat er per zeugplaats f 11,46 per jaar aan energie bespaard kan worden door gebruik te maken van recirculatie met grondbuizen in plaats van de standaard klimaatvoorzieningen (ventilatie en verwarming).

In tabel 9 zijn de jaarkosten per zeugplaats weergegeven (gebaseerd op een afdeling met 60 plaatsen). De kosten voor spuiwater worden bepaald door de afvoerkosten per m³ mest, die ongeveer f 20,- bedragen, en de hoeveelheid spuiwater per zeug, ongeveer 100 m³ per jaar. Het spuiwater wordt namelijk aan de mest toegevoegd. Uit deze jaarkosten blijkt dat de uiteindelijke jaarkosten voor recirculatie van lucht altijd hoger zijn dan de jaarkosten voor een standaard dekstal of een dekstal met extra isolatie. De jaarkosten voor een zeugplaats in een afdeling met recirculatie zijn 100 tot 200 gulden hoger dan in een standaard dekstal. Bij toepassing van luchtrecirculatie in dekstallen volgens het in dit rapport behandelde principe kan een ammoniakreductie van 5,13 kg per zeugplaats per jaar worden gerealiseerd. In tabel 10 zijn de kosten per kilogram ammoniakreductie weergegeven voor een aantal verschillende ammoniakbe-

perkende maatregelen.

In de bovenstaande tabel worden de kosten per zeugplaats per jaar van het recirculatiesysteem vergeleken met de kosten van systemen die grote ammoniakemissiereducties halen (Den Hartog, 1994). Met behulp van het BB-Air Recycling systeem kan de grootste ammoniakreductie worden gehaald.

Uit tabel 10 blijkt dat de verwachte investeringskosten voor stalluchtrecirculatie met

koeling (grondwater of grondbuizen) vergelijkbaar zijn met die voor mestschuiven, biowassers en spoelen met beluchte vloeistof. Afhankelijk van de prijsontwikkeling van de verschillende componenten, de wetgeving met betrekking tot energieverbruik en ammoniakemissie en de verdere ontwikkeling van het recirculatiesysteem zal recirculatie van lucht in de varkenshouderij toegepast gaan worden.

Tabel 10: Ammoniakreductie en kosten per zeugplaats per jaar

systeem	reductie perc.	jaar- kosten
recirculatie met mech. koeling	96%	f 232,-
recirculatie met grondwaterkoeling	96%	f 156,-
recirculatie met grondbuizen	96%	f 127,-
biowasser	80%	f 180,-
mestschuiven	50%	f 190,-
spoelen met beluchte vloeistof	55%	f 155,-

5 DISCUSSIE EN CONCLUSIES

Bij de beoordeling van de resultaten moeten meerdere aspecten worden betrokken. Met name de produktieresultaten, de milieuconsequenties en het energieverbruik zullen, samen met de kosten van het systeem de toepassingsmogelijkheden bepalen. Daarnaast dient het systeem betrouwbaar te functioneren.

5.1 Produktie

Qua produktieresultaten zijn geen verschillen tussen de drie dekafdelingen aangetoond. De technische storingen in de proefperiode hebben geen negatieve gevolgen op de produktie gehad. Of de theoretische voordelen inderdaad gerealiseerd kunnen worden, is op grond van de verzamelde gegevens echter niet vast te stellen.

Thermisch is het stalklimaat in de dekafdeling met recirculatie duidelijk beter te beheersen dan in de twee andere afdelingen. Dit mag als een voordeel van dit systeem worden aangemerkt. De luchtsamenstelling in de afdeling met recirculatie is anders dan in beide andere stallen. Alle onderzochte gassen zijn bij de in de stal-lucht voorkomende concentraties niet schadelijk voor de gezondheid van mens of dier. Omdat wel bekend is dat soms de negatieve effecten van een gas versterkt kunnen worden door de inademing van een tweede gas, maar niet bekend is hoe de onderlinge versterkingen van de hierboven genoemde gassen zijn, moet men voorzichtig zijn met te concluderen dat de stallucht gezond is.

De zeugen zijn maar een korte periode in de dekstal (± 1 maand) in verhouding tot de gehele reproductiefase (± 5 maanden). Hitstress kan negatieve effecten hebben op de reproductieresultaten, via terugkomers en kleinere worpen. Als de zeugen tijdens hun gehele reproductieperiode in beter geklimatiseerde afdelingen gehuisvest zouden zijn dan kunnen deze negatieve effecten voorkomen worden.

5.2 Milieu

Gassen hopen zich niet op door de recirculatie. Ammoniak en H_2S worden effectief door het BB-Air Recycling systeem uit de lucht verwijderd. Uit de resultaten komen geen aanwijzingen naar voren dat de gasconcentraties in de dekafdeling met recirculatiesysteem schadelijk voor de gezondheid van de mens en dier kunnen zijn.

De afdeling met recirculatie heeft een zeer lage ammoniak uitstoot, 0,2 kg NH_3 per zeugplaats per jaar, waardoor de stal kan voldoen aan eisen die bij nieuwbouw vanuit milieu-oogpunt aan stallen gesteld (gaan) worden. Alle luchtreinigingstechnieken die ammoniak uit stallucht verwijderen, zoals biobedden en luchtwassers, produceren nitraat. De afdeling met recirculatie heeft het voordeel dat de omzetting van ammoniak in nitraat veel constanter in de tijd is omdat de hoeveelheid lucht en de temperatuur hiervan constant zijn. Verdere ontwikkeling van de vervolgstap om het gevormde nitraat om te zetten in vrije stikstof, denitrificatie, heeft voor de in de proef gebruikte opzet goede perspectieven. Op deze wijze kan de stikstofbelasting voor het milieu geheel worden opgeheven.

Een ander aspect van de afdeling met recirculatie is dat de geurbeleving van de stal-lucht anders is. De typische "varkenslucht" ontbreekt. Hoewel geurbeleving een subjectief gegeven is, worden duidelijk minder klachten over stankhinder verwacht bij de lucht uit de afdeling met recirculatie.

5.3 Energie

Vanuit het oogpunt van energie blijkt de stal met recirculatie een totale besparing op de hoeveelheid energie voor verwarming op te kunnen leveren. In een koude winterperiode (november 1993) werd de staltemperatuur gehandhaafd op het gewenste niveau zonder dat bijverwarmd werd. Anderzijds stijgt het energieverbruik doordat er meer ventilatorvermogen noodzakelijk is. Ook de luchtreiniging verhoogt het energieverbruik omdat water rondgepompt moet worden en

UVc-lampen worden gebruikt voor desinfectie van de gerecirculeerde lucht. Door gebruik te maken van grondwaterkoeling of grondbuizen kan respectievelijk 60% en 70% op het energieverbruik worden bespaard. Ook het toepassen van een warmtepomp kan perspectieven bieden. Uit hoofdstuk vier blijkt dat het energieverbruik voor het BB-Air Recycling systeem teruggebracht kan worden tot het niveau in een standaard dekstal door toepassing van energie-arme koeling.

5.4 Mogelijkheden in de toekomst

Technisch is het dus zeer goed mogelijk om een erg lage ammoniak- en geuremissie te

realiseren. Voor een praktijktoepassing is het essentieel dat er een technisch financieel optimum gezocht wordt. Variaties zijn hierbij mogelijk, onder andere het veranderen van de verhouding tussen de hoeveelheden lucht die gerecirculeerd en die ververst worden. Het wordt daarom aanbevolen aansluiting te zoeken bij de ontwikkelingen rondom emissie-arme huisvesting en de eisen die daaraan gesteld worden. Ook het positieve effect van deze luchtbehandeling op de geuremissie is een nog niet gekwantificeerd voordeel. In de toekomst kan dit op bepaalde plaatsen van doorslaggevende betekenis zijn.

LITERATUUR

- Aarnink, A.J.A., E.N.J. van Ouwerkerk en M.W.A. Verstegen 1992. *A mathematical model for estimating the amount and composition of slurry from fattening pigs*. Live-stock Production Science, nr. 31, p.121-132.
- Anderson, G.A., R.J. Smith, D.S. Bundy en E.G. Hammonds 1987. *Model to predict Gaseous Contaminants in Swine Confinement Buildings*. J. Agric. Engng. Res., nr. 37, p.235-253.
- Anthonissen, A.C., R.C. Loehr, T.B.S. Prakasam en E.G. Srinath 1976. *Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid*. J. Wat. Pollut. Control Fed., no. 48, p.835-852.
- Anon. 1989. *Biologische Abgasreinigung*. VDI-Berichte 735. VDI, Düsseldorf.
- Anon. 1993I. *Handboek voor de varkenshouderij*. IKC publicatie 37. IKC-Veehouderij, Ede.
- Anon. 1993II. *Kwantitatieve informatie veehouderij 1992-1993*. IKC-Veehouderij.
- Bartelds et al. 1990. *Monografieën informatiesysteem technieken*. Compartment Lucht, TNO-rapport 736101007, p. 160-189.
- Breum, N.O. en J. Skotte 1991. *Displacement air flow in a printing plant measured with a rapid response tracer gas system*. Building Serv. Eng. Res. Technol., no. 12, vol. 1, p. 39-43.
- Britt J.H., V.E. Szarek and D.G. Levis 1983. *Characterization of summer infertility of sows in large confinement units*. Theriogenology, Vol. 20, No. 1, p.133-140.
- Carson, T.L., K.J. Donham, M.A. Dominick en T.A. Bertram 1980. *Carbon monoxide induced abortion in swine: an update*. Amer. Assn. Veterinary Laboratory Diagnosticians, 23rd annual proceedings, p. 59-66.
- Donham, K.J., J. Yeggy en R.R. Dague 1988. *Production rates of toxic gases from liquid swine manure: health implications for workers and animals in swine confinement buildings*. Biological Wastes, nr. 24, p.161-173.
- Gerber, D.B., K.M. Mancl en G.C. Shurson 1989. *Gas levels survey of Ohio swine confinement facilities*. ASAE paper 894526. St. Joseph, MI.
- Klooster, CE. van 't 1993. *Luchtinlaatsystemen ontwikkelen zich verder*. Varkens, nr. 6, p. 28-31.
- Klooster, CE. van 't, H.J.M. Hendriks, W. van der Hel, A. van 't Ooster, E.N.J. van Ouwerkerk, C.J.M. Scheepens en P. van der Voorst 1989. *Klimaatnormen voor varkens*, Proefrapport PI.43. Proefstation voor de Varkenshouderij, Rosmalen.
- Klooster, CE. van 't, B.P. Heitlager en J.P.B.F. van Gastel 1992. *Measurement systems for emissions of ammonia and other gases at the research institute for pig husbandry*. Report P3.92. Proefstation voor de Varkenshouderij, Rosmalen.
- Malayer, J.R., K.E. Brandt, M.L. Green, D.T. Kelly, A.L. Sutton en M.A. Diekman 1988. *Influence of manure gases on the onset of puberty of replacement gilts*. Anim. Prod., nr. 46, p. 277-282.
- Moulsley, L.J. en J.T. Fryer 1985. *Air leakage of broiler houses*. Farm buildings & engineering, nr. 2, vol 2, p. 17-19.
- Muck, R.E. en T.S. Steenhuis 1982. *Nitrogen losses from manure storages*. Agricultural Wastes, nr. 4, p. 41-54.
- O'Neill, D.H. en V.R. Phillips 1992. *A review of the control of odour nuisance from livestock buildings: Part 3, properties of the odorous substances which have been identified in livestock wastes or in the air around them*. J. agric. Engng. Res., nr. 53, p.23-50.

- Oosting, R., L.G.C.M. Urlings, P.H. van Riel and C. van Driel 1992. *Biopur: Alternative packaging for biological systems*. In: Dragt, A.J. and J. van Ham (Eds), *Biotechniques for air pollution abatement and odour control policies*. Studies in Environmental Sciences 51, Elsevier, Amsterdam 1992.
- Hartog, L.A. den en J.A.M. Voermans (red.) 1994. *Naar veehouderij en milieu in balans (Varkens), 10 jaar FOMA onderzoek*. Wageningen
- Oosting, R. et al. 1992. *Alternatief pakkingsmateriaal voor biologische systemen*, Procestechnologie, 1992.
- Oosting, R., L.G.C.M. Urlings, A. Tolsma en CE. van 't Klooster 1993. *Stalluchtreiniging met een biotricklingfilter*. Jaarvergadering vereniging lucht, Utrecht.
- Reilly, J.D. and A.J. Roberts 1991. *An investigation into summer infertility in a commercial pig unit*. Pig Veterinary Journal, Vol. 27, p. 157-168.
- Sande-Schellekens, A.L.P. van de en G.B.C. Backus 1993. *Ervaringen met biobedden op vleesvarkensbedrijven in PROPRO*. Proefverslag PI.99, Proefstation voor de Varkenshouderij, Rosmalen.
- SAS 1990. *SAS-Manual Statistics*. SAS-Institute Inc., Carv N.C., USA.
- Schaefer, J., J.M.H. Bemelmans en M.C. ten Noever de Brauw 1974. *Onderzoek naar de voor de stank van varkensmesterijen verantwoordelijke componenten*, Landbouwkundig Tijdschrift, nr. 86. p. 228-232.
- Sterrenburg, P. en E.N.J. van Ouwerkerk 1986. *Rekenmodel voor de bepaling van de thermische behaaglijkheidszone van varkens*. IMAG rapport 78. IMAG, Wageningen.
- Veenhuizen, M.A. and R. Qi 1992. *Reducing noxious gas emissions & odors from manure storages*. ASAE paper 924073. ASAE, St. Joseph, MI.
- Verhagen, J.M.F., M.W.A. Verstegen, T.P.A. Geuyen and B. Kemp 1986. *Effect of environmental temperature and feeding level on heat production and lower critical temperature of pregnant sows*. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, no. 55, p. 246-256.
- Wathes, C.M. 1981. *Insulation of animal houses*. In: Clark, J.A. (Eds), *Environmental Aspects of Housing for Animal Production*. p. 379-412, London.
- Zhang, R.H., D.L. Day and K. Ishibashi 1990. *Generation and transport of gases in and out of liquid swine manure in under-floor pits*. Proc. of the 6th Intern. Symp. on Agric. and Food Processing Wastes.

BIJLAGEN

Bijlage 1: Reeds verschenen publikaties met betrekking tot klimatisering van de dekstal

Anon. 1993II. *Onderzoek naar stalluchtkwaliteit bij Proefstation voor de Varkenshouderij te Raalte*. Rapport 3262200. Tauw Infra Consult b.v., Deventer.

Klooster, C.E. van 't 1993. *Welke gassen zitten in stallucht?* Praktijkonderzoek Varkenshouderij 7 (5), p. 2-4.

Loenen, P. 1993. *High-tech in de dekstal*. Boerderij/Varkenshouderij 78, nr. 14, p. 18-19VA.

Oosting, R., L.G.C.M. Urlings, A. Tolsma en C.E. van 't Klooster 1993. *Stalluchtreiniging met een biotricklingfilter*. Jaarvergadering vereniging lucht, Utrecht.

Plagge, G.J., C.E. van 't Klooster en A. Tolsma 1992. *Geklimatiseerde dekstal opgestart*. Praktijkonderzoek Varkenshouderij 6(2), p. 20-21.

Plagge, G.J., C.E. van 't Klooster, J. Veenstra en R. Oosting 1994. *Geklimatiseerde dekstal: weinig emissie, nog geen betere produktie*. Varkens, nr. 2, p. 40-43.

Wesseling, W. 1993. *Air-conditioning geeft varkens constant klimaat*. Varkens, nr. 4, p. 22-23.

REEDSEERDERVERSCHENEN PROEFVERSLAGEN

Proefverslag P 1.87

"Verkleinen van de spreiding in aflevergewicht van vleesvarkens". R. Hoste; Baltussen, W.H.M., november 1992.

Proefverslag P 1.88

"Analyse van het interval spenen - eerste inseminatie". R.H.J. Scholten; Vesseur, P.C.; Kemp, B., februari 1993.

Proefverslag P 1.89

"KASVA Knelpunten analyse systeem varkenshouderij". W.H.M. Baltussen; Breembroek, J.A.; Elst-Wahle, E.R. ter; Ven, E.P.H.E. van de, januari 1993.

Proefverslag P 1.90

"Het effect van microbieel fytase in het voer op de opfokresultaten van gespeende biggen". C.M.C. van der Peet-Schwering, april 1993.

Proefverslag P 1.91

"Onderzoek aan een diepstrooiselsysteem op praktijkbedrijven". C.N. Huysman; Greutink, G.J.; Schellekens, J.J.M.; Pompe, J.C.A.M.; Vos, H.W., juli 1993.

Bijlage proefverslag P 1.91a

"Onderzoek aan een diepstrooiselsysteem op praktijkbedrijven". C.N. Huysman; Greutink, G.J.; Schellekens, J.J.M.; Pompe, J.C.A.M.; Vos, H.W., juli 1993.

Proefverslag P 1.92

"Rioleringssysteem voor de afvoer van mest". J.G.M. Thelosen; Cuyck, J.H.M. van; Voermans, J.A.M., juli 1993.

Proefverslag P 1.93

"Ervaringen met biowassers op vleesvarkensbedrijven in PROPRO". A.L.P. van de Sande-Schellekens; Backus, G.B.C., juni 1993.

Proefverslag P 1.94

"Mestpannen in kraamstallen". N. Verdoes; Cuyck, J.H.M. van; Brok, G.M. den; Heitlager, B.P., augustus 1993.

Proefverslag P 1.95

"Reductie van ammoniakemissie uit varkensstallen door mestspoelen met beluchte spoelvlloeistof". P. Hoeksma; Oosthoek, J.; Verdoes, N.; Voermans, J.A.M., september 1993.

Proefverslag P 1.96

"Arbeid en arbeidsomstandigheden in diepstrooiselsystemen voor vleesvarkens". P.F.M.M. Roelofs; Binnendijk, G.P.; Romein, H.J.; Sande-Schellekens, A.L.P. van de, augustus 1993.

Proefverslag P 1.97

"Wel of niet bedrijfsmatig bijvoeren van zogende biggen met vast voer". A. Hoofs, juli 1993.

Proefverslag P 1.98

"Extra waterverstrekking aan lacterende zeugen", J.H.M. van Cuyck; Baeten, P., oktober 1993.

Proefverslag P 1.99

"Ervaringen met biobedden op vleesvarkensbedrijven in PROPRO". A.L.P. van de Sande-Schellekens; Backus, G.B.C., augustus 1993.

Proefverslag P 1.100

"Poliklinische kraamafdelingen in combinatie met zoogafdelingen voor zeugen". A.I.J. Hoofs, februari 1994.

Proefverslag P 1.101

"Bedrijfsinpasbaarheid van vrijdragende afdekkingen op mestilo's; een enquête onder veehouders". A.L.P. van de Sande-Schellekens; Backus, G.B.C., september 1993.

Proefverslag P 1.102

"Ervaringen met diepstrooisel op een varkensbedrijf in PROPRO". A.L.P. van de Sande-Schellekens; Backus, G.B.C.; Bokma, Sj., september 1993.

Proefverslag P 1.103

"De invloed van inweekmethode, waterdruk, waterdebiet en nozzle op het waterverbruik en de werktijd voor het reinigen van varkensstallen". P.F.M.M. Roelofs; Hoofs, A.I.J.; Binnendijk, G.P., december 1993.

Proefverslag P 1.104

"Ultrasone meting van spekdikte bij groeien de vleesvarkens en latere classificatieresultaten". W. Zhang; Huiskes, J.H.; Ramaekers, P.J.L., oktober 1993.

Proefverslag P 1.105

"Temperatuurbehoefte van lacterende zeugen in relatie tot voeropname, productie en energieverbruik". C.A. Makkink; Peet-Schwering, C.M.C. van der; Klooster, C.E. van 't; Verstegen, M.W.A.; Schrama, J.W., februari 1994.

Proefverslag P 1.106

"Vergelijking diepstrooiselsystemen met een traditioneel huisvestingssysteem; praktische ervaringen". J.G.M. Thelosen; Cuyck, J.H.M. van; Voermans, J.A.M., maart 1994.

Proefverslag P 1.107

"Gescheiden mesten van borgen en zeugen". C.M.C. van der Peet-Schwering; Binnendijk, G.P., april 1994.

Proefverslag P 1.108

"Het effect van biggenblazers op de uitval van zuigende biggen". G.M. den Brok; Hoofs, A.I.J., april 1994

Proefverslag P 1.109

"Het aantal nakomelingen van de eerste en van de tweede inseminatie, 24 uur na de eerste, bij zeugen die vier, vijf of zes dagen na spenen berig worden". P.C. Vesseur; Binnendijk, G.P., 1994.

Proefverslag P 1.110

"Basis Registratie Gezondheid". E.R. ter Elst-Wahle; Vesseur, P.C.; Fuchs, J.J.M.; Vernooy, J.C.M.; Haas-Klink, K.H. de; Huysman, C.N., juli 1994.

Proefverslag P 1.111

"MILIV: Milieu-investeringen op vleesvarkensbedrijven; een rekenmodel.". A.L.P. van de Sande-Schellekens; Backus, G.B.C., 1994.

Proefverslag P 1.112

"Economische effecten van structuurbeïnvloedende maatregelen op de varkenshouderij in Nederland". G.B.C. Backus; Baltussen, W.H.M.; Bens, P.A.M., juni 1994.

Proefverslag P 1.113

"Moederloze opfok of verlenging van de zoogperiode van biggen met "Emma". C.N. Huysman; Roelofs, P.F.M.M.; Plagge, J.G.; Hoofs, A.I.J., 1994.

Proefverslag P 1.114

"Het beperkt voeren van borgen aan een brijbak". C.M.C. van der Peet-Schwering, Hoofs, A.I.J., 1994.

Proefverslag P 1.115

"De Turbomat voerautomaat voor gespeen-de biggen in vergelijking met een droogvoerbak". A.I.J. Hoofs en J.G. Plagge, 1994.

Proefverslag P1.116

"Gezondheidsproblemen van zeugen in groepshuisvesting". F.J. van der Wilt, L. Velenga en H.M. Vermeer, 1994.

Proefverslag Pl. 117

"Technisch Model Varkensvoeding.", Informatiemodel. C.M.C. van der Peet-Schwering e.a., 1994.

Proefverslag P1.118

"Het effect van de groepsgrootte bij gespeende biggen op technische- en economische resultaten". H.M. Vermeer en A.I.J. Hoofs, 1994.

Proefverslag P1.119

"Onderzoek naar mogelijkheden tot bepaling van de vleeskwiteit van koppels vleesvarkens door benutting van lichtreflectiemeting". M.J.H.M. Klein Breteler, W.M. Wes, J.H. Huiskes, E. Kanis en P. Walstra, 1994.

Proefverslag Pl. 120

"Vergelijking van het één-, twee- en drie-weekse produktiesysteem voor vermeerderingsbedrijven". P.F.M.M. Roelofs en P.M.H.K. Verbaarschot, 1994.

Proefverslag Pl. 121

"Literatuurstudie naar de problematiek rondom het mesten van beertjes". R.H.J. Scholten, J.H. Huiskes en P.C. Vesseur, 1994.

Proefverslag Pl. 122

"Mogelijkheden tot produktie van vleesbeertjes en afzet van vlees en vleesprodukten hiervan". R.H.J. Scholten, J.H. Huiskes, W.H.M. Baltussen, R. Hoste, J.G.M. Thelosen en A.W. Vermeer, 1994.

Proefverslag P1.122a

"Handleiding Rekenmodel BeerBorg + diskette". R.H.J. Scholten en J.H. Huiskes, 1994.

Proefverslag P1. 123

"Automatische bepaling van het individuele lichaamsgewicht van in groepen gehuisveste vleesvarkens met een voorhandweegsysteem". P.J.L. Ramaekers, J.H. Huiskes, M.W.A. Verstegen, L.A. den Hartog, P.C. Vesseur en J.W.G.M. Swinkels, 1994.

Proefverslag P1. 124

"Varkenssector op kruispunt; drie mogelijke toekomstbeelden voor 2005". P.A.M. Bens, G.B.C. Backus en I.A.M.A. Jahae, november 1994.

Exemplaren van proefverslagen kunnen worden verkregen door f 18,50 per verslag (m.u.v. Pl. 117, deze kost f 50,-) over te maken op Postbanknummer 51.73.462 ten name van het Proefstation voor de Varkenshouderij, Lunerkampweg 7, 5245 NB ROSMALEN, onder vermelding van het gewenste verslagnummer. Buitenlandse abonnees betalen f 20,- per P I-verslag (dit is inclusief verzendkosten) én f 15,- administratiekosten per bestelling (m.u.v. Pl. 117, deze kost f 75,-).

Ook bestaat de mogelijkheid een abonnement te nemen op de proefverslagen voor f 250,- per jaar.