

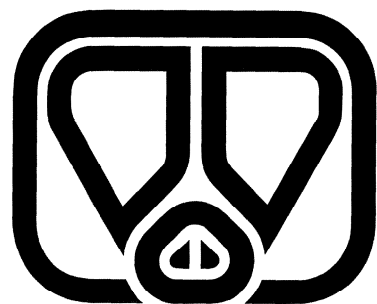
Dr.ir. C.A. Makkink¹
Ir. C.M.C. van der Peet-
Schwering¹
Ir. C.E. van 't Klooster'
Prof.dr.ir. M.W.A. Verstegen²
Dr.ir. J.W. Schrama²

1) Proefstation voor de Varkenshouderij,
Rosmalen

1) Landbouwwuniversiteit, Wageningen

Temperatuurbehoefte van lacterende zeugen in relatie tot voeropname, produktie en energieverbruik

*Temperature requirements
of lactating sows in relation
to feed intake, production
and energy consumption*



Praktijkonderzoek Varkenshouderij

Locatie:
Proefstation voor de
Varkenshouderij
Lunerkampweg 7
5245 NB Rosmalen
Tel. 04192 - 86555

Opdrachtgever: NOVEM

Landbouwwuniversiteit : Wageningen



Proefverslag nummer P 1.105
februari 1994

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.

INHOUDSOPGAVE

	SAMENVATTING	4
	SUMMARY	5
1	INLEIDING <i>INTRODUCTION</i>	6 6
1.1	Aanleiding tot het onderzoek	6
1.2	Probleemstelling	6
1.3	De huidige situatie - energieverbruik	7
2	LITERATUURSTUDIE <i>LITERATURE STUDY</i>	9 9
3	THERMOREGULATIE VAN LACTERENDE ZEUGEN - DIERNIVEAU <i>THERMOREGULATION OF LACTATING SOWS - ANIMAL LEVEL</i>	13 13
3.1	Inleiding	13
3.2	Energiebehoefte lacterende zeugen	13
3.3	Warmteproductie lacterende zeugen	14
3.4	Warmte-afgifte lacterende zeugen	14
3.5	Mogelijkheden om de warmte-afgifte van lacterende zeugen te verbeteren en/of te vergroten	17
3.5.1	Verlagen omgevingstemperatuur	17
3.5.2	Verhogen luchtsnelheid	17
3.5.3	Verlagen vloertemperatuur (vloerkoeling)/ Verlagen warmteweerstand vloer	18
3.5.4	Verlagen drinkwatertemperatuur (koud water verstrekking)	18
3.5.5	Bevochtigen huid (drip cooling)	18
3.6	Temperatuurbehoefte van de biggen	18
3.7	Conclusies	19
4	MOGELIJKHEDEN TOT ENERGIEBESPARING - BEDRIJFSNIVEAU <i>POSSIBILITIES FOR ENERGY SAVING - FARM LEVEL</i>	21 21
4.1	Algemeen	21
4.2	De kraamstal	21
4.3	Plaatselijke verwarming	23
5	DISCUSSIE EN CONCLUSIES <i>DISCUSSION AND CONCLUSIONS</i>	26 26
5.1	Discussie	26
5.2	Aanbevelingen voor verder onderzoek	27
5.3	Conclusies	29
	LITERATUUR <i>REFERENCES</i>	30 30
	REEDS EERDER VERSCHENEN PROEFVERSLAGEN <i>PUBLISHED RESEARCH REPORTS</i>	32 32

SAMENVATTING

De eisen die een lacterende zeug aan het klimaat stelt zijn nog onvoldoende bekend. Wel is duidelijk, dat de temperatuurbehoefte van een zeug tijdens de lactatie aanzienlijk lager is dan de temperatuurbehoefte van haar biggen. Dit levert in de praktijk problemen op, aangezien het (nog) niet goed mogelijk is om het microklimaat voor de biggen te scheiden van het klimaat voor de zeug. De temperatuur in de kraamstal zal dan ook een compromis zijn tussen de behoefte van de zeug en de behoefte van de biggen.

Een hoge temperatuur voor de zeug leidt tot verminderde voeropname en dus meer conditieverlies en een lagere melkproductie.

Een lage temperatuur voor de biggen vermindert hun vitaliteit en vergroot daarmee de kans op uitval tijdens de zoogperiode. Verreweg het grootste gedeelte (85%) van het totale energieverbruik in de zeugenhoudery (3820 MJ per zeug per jaar) wordt besteed aan verwarming. In de kraamstal bestaat de verwarming uit ruimteverwarming (circa 3/4 van het totale energieverbruik voor verwarming, voornamelijk aardgas) en plaatselijke verwarming van de biggennesten (circa 1/4 van het totale energieverbruik voor verwarming, voornamelijk elektra).

Terugdringing van het totale energieverbruik in de zeugenhoudery kan vooral bereikt worden via een besparing op het verbruik voor verwarming en dan met name de verwarming van de ruimte in de kraamstal. Voor de hoogproductieve, veel warmte producerende zeug in de kraamstal is een ruimtetemperatuurverlaging van bijvoorbeeld 2°C geen probleem. Het effect op de biggen mag echter niet verwaarloosd worden. Een verlaging van de ruimtetemperatuur in de kraamstal met 2°C zal een aanzienlijke daling van het energieverbruik opleveren (een besparing van meer dan 50% ofwel van 40 miljoen m³ aardgas per jaar in Nederland). Een eventueel nadelig effect op de biggen kan ongedaan gemaakt worden door middel van extra lokale verwarming. Als hiervoor de helft van de op ruimteverwarming bespaarde energie

gebruikt wordt, kan het energiegebruik voor plaatselijke verwarming verdubbeld worden. Een verschuiving van ruimtelijke naar plaatselijke verwarmingssystemen in de kraamstal lijkt goede perspectieven te bieden voor het bereiken van een maximale energiebesparing in de Nederlandse kraamstallen. Voor wat betreft de lokale verwarming van de biggennesten kan door het gebruik van gesloten biggenonderkomens veel energie bespaard worden. Bij Nederlandse zeugenhouders bestaat echter nogal wat weerstand tegen het gebruik van onderkomens, vanwege de extra arbeid en het verminderde zicht op de biggen.

Samengevat kan gesteld worden, dat energiebesparing in de kraamstal zeker mogelijk is, door een verschuiving van ruimtelijke naar plaatselijke verwarming. In nader onderzoek zal de optimale combinatie van ruimte- en lokale temperaturen vastgesteld moeten worden.

Meer kennis over de temperatuurbehoeften van lacterende zeugen en hun biggen en vooral ook over het verloop van deze behoefte gedurende een etmaal en gedurende de zoogperiode, kan leiden tot een nog betere afstemming van het klimaat in de kraamstal op de behoeften van de erin verblijvende dieren. Bovendien kan hierdoor een overmatig gebruik van steeds schaarser wordende energiebronnen teruggedrongen worden.

SUMMARY

The climatic requirements of lactating sows are not fully known. It is clear, however, that the temperature requirements of a sow during lactation are considerably lower than the requirements of her piglets. This leads to practical problems, since it is not (yet) possible to separate the piglets microclimate completely from that of the sow. The temperature in the farrowing barn will therefore be a compromise between the requirements of the sow and the requirements of the piglets.

A high environmental temperature for the sow causes decreased feed intake and thus more loss of body weight and backfat and decreased milk production. A low temperature for the piglets decreases their vitality and hence increases mortality during the pre-weaning period.

The largest part (85%) of the total energy consumption in the pig producing business (3820 MJ per sow per year) is spent on heating. In the farrowing room this heating is partly spatial heating (approximately 3/4 of the total expenditure for heating, mainly natural gas) and partly local heating of the piglet area (approximately 1/4 of the total use, mainly electric).

Economizing on the total energy use in pig production will be effected mainly through a decrease of the use of energy for heating, especially spatial heating in the farrowing room. For high (milk and heat) producing sows in lactation it is quite possible to reduce the temperature in the farrowing barn by, e.g., 2°C. The effect of this temperature reduction on the piglets must be taken into account. A room temperature reduction of 2°C will lead to a considerable reduction of the energy expenditure (a reduction of more than 50%, hence of 40 million m³ of natural gas per year in the Netherlands). Detrimental effects on the piglets may be prevented by applying extra local heating. When half of the energy that is saved on spatial heating is used for local heating, then energy use for local heating in the farrowing rooms may be doubled.

A shift from spatial to local heating systems in farrowing barns seems to offer interesting

prospects for maximal energy saving in Dutch farrowing barns.

With respect to local heating systems in piglet areas, the use of piglet enclosures will save much energy. However, Dutch pig breeders are rather reluctant to use these systems, because of the extra work involved and the diminished view on the piglets.

In conclusion: saving energy in the farrowing room is very well possible by shifting from spatial to local heating systems. Further research should consider the optimal combinations of room and local temperatures.

More knowledge on the temperature requirements of lactating sows and their piglets and especially on the changes in requirements during the day and during the lactation period is needed. This may lead to better adjustment of the climatic environment in the farrowing room to the requirements of the sow and her piglets. Furthermore, an excessive use of scarce energy sources may be diminished.

1 INLEIDING

INTRODUCTION

1.1 Aanleiding tot het onderzoek

Dit rapport is het resultaat van een studie naar de temperatuurbehoefte van lacterende zeugen in relatie tot voeropname, produktie en energieverbruik.

Het is wenselijk om landbouwhuisdieren te houden binnen hun thermoneutrale zone (TNZ) en liefst binnen hun comfortzone (CZ). De TNZ is het temperatuurtraject waarbinnen de warmteproductie minimaal is en onafhankelijk van de omgevingstemperatuur (Holmes en Close, 1985). Binnen de CZ nemen bovendien de verdampingsverliezen slechts in geringe mate toe met de omgevingstemperatuur (Holmes en Close, 1985). Dit betekent, dat de onderhoudsbehoefte minimaal is en zoveel mogelijk opgenomen voer (-energie) benut kan worden voor produktiedoelinden (groei, melkproduktie). De TNZ en de CZ van lacterende zeugen zijn nog onvoldoende in kaart gebracht. In de kraamstal is dit een probleem: de pasgeboren biggen hebben een hoge warmtebehoefte (de onderste kritieke temperatuur van een pasgeboren big is hoger dan 30°C), terwijl over de warmtebehoefte van de zeug onvoldoende bekend is. Gezien het hoge voerniveau tijdens de lactatie mag een vrij hoge warmteproductie verondersteld worden, zodat de onderste kritieke temperatuur vrij laag zal zijn. De exacte ligging van de TNZ van lacterende zeugen is niet bekend. Bij een te hoge staltemperatuur zal de latente warmte-afgifte (verdamping) toenemen. Bij varkens zal dit vooral door een versnelde ademhaling plaats vinden, omdat varkens niet of nauwelijks zweten (Mount, 1979). Als de zeug haar warmte niet kwijt kan, zal de voeropname gaan dalen en daarmee wellicht ook de melkproduktie en de groei van de biggen (Lynch, 1989).

In kraamstallen liggen lacterende zeugen op zeer korte afstand van zuigende biggen. De ruimtetemperatuur in de kraamstal (circa 20°C of hoger) is dan ook een compromis tussen de behoefte van de zeug en de behoefte van de biggen. Voor de zeug is deze temperatuur eigenlijk te hoog, wat leidt tot (te) lage voeropname, zodat er mogelijk

een fors gewichts- en conditieverlies van de zeug tijdens de lactatie optreedt.

Meer kennis over de temperatuurbehoefte van lacterende zeugen is nodig, zodat de staltemperatuur aangepast kan worden aan de behoefte van de zeug (met eventuele aanpassingen om verkleuming van de biggen te voorkomen). Een verlaging van de temperatuur in de kraamstal van 22 naar 15°C zou een energiebesparing opleveren van circa 64 miljoen m³ aardgas (32 miljoen gulden) op jaarbasis in Nederland.

Het rapport is als volgt opgezet: Begonnen wordt met een beschrijving van de probleemstelling en de huidige situatie in de Nederlandse zeughouderij (dit hoofdstuk). De uit de literatuur beschikbare kennis met betrekking tot de temperatuurbehoefte van lacterende zeugen wordt besproken in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 worden de thermoregulatie-processen bij zeugen gekwantificeerd. Vervolgens worden de mogelijkheden tot energiebesparing in de kraamstal geïnterpreteerd (hoofdstuk 4). De hiaten in kennis vormen de basis van enige aanbevelingen voor nader onderzoek (hoofdstuk 5). Op grond van de (theoretische) mogelijkheden tot energiebesparing en de verzamelde informatie over de klimaatbehoeften van zeug en biggen in de kraamstal, worden praktisch toepasbare maatregelen om tot energiebesparing te komen bediscussieerd in hoofdstuk 5.

1.2 Probleemstelling

Het klimaatdilemma in de kraamstal is gelegen in de sterk verschillende behoeften van de lacterende (hoog produktieve, veel warmte producerende) zeug en de jonge biggen (gebrekkige thermoregulatie, weinig vetweefsel, nat bij de geboorte, veel warmte verliezend). De gewenste temperatuur in het biggenest bedraagt vlak na de geboorte 30 à 35°C, en neemt af tot 20 à 25°C bij spenen. De optimale temperatuur voor de lacterende zeug ligt waarschijnlijk dicht bij 15°C, afgaande op het hoge produktieniveau en dus de hoge (gewenste) voerop-

name en warmteproductie. De ruimtetemperatuur in de kraamstal wordt minimaal op 18°C gehouden, om de biggen niet te laten verkleumen als ze het kraamhok gaan verkennen of bij de zeug gaan drinken. Dit betekent dat het energieverbruik voor verwarming (ruimteverwarming en plaatselijke (nest-) verwarming) vrij hoog is in de zeugenhouderij.

In de kraamstal is dus sprake van gedeeltelijk tegenstrijdige belangen:

ZEUG ↔ BIGGEN ↔ ENERGIEVERBRUIK

Het probleem kan op twee niveaus aangepakt worden:

Op *dierniveau*, waarbij de behoeften van de twee diercategorieën en de verschillen hier tussen centraal staan.

Op *bedrijfsniveau*, waarbij de mogelijkheden tot energiebesparing en de praktische toepasbaarheid van de verschillende (verwarmings-) mogelijkheden worden geïnventariseerd,

In dit rapport worden deze twee manieren van aanpak behandeld. Tevens worden de besproken mogelijkheden beoordeeld op hun bruikbaarheid voor de praktische zeugenhouderij.

1.3 De huidige situatie - energieverbruik

Driekwart van de zeugenbedrijven hanteert momenteel een ruimtetemperatuur in de kraamstal (direkt na het werpen) van 19-22°C. Deze temperatuur is voor de lacterende zeugen waarschijnlijk te hoog, wat een verlaging van de voeropname kan veroorzaken. Twee derde van de bedrijven voert de zeugen dan ook een geconcentreerd voer (EW > 1,01) tijdens de zoogperiode (Baltussen, 1988). Slechts 15% van de bedrijven voert de lacterende zeugen volgens de norm (destijds: 1,7 kg + 0,4 kg per big). Meer dan de helft van de bedrijven voert volgens een eigen norm, afhankelijk van het aantal biggen (Baltussen, 1988).

Momenteel vindt op vrijwel alle zeugenbedrijven mechanische ventilatie plaats. In 1988 gebruikte circa 20% van de bedrijven een gesloten biggenonderkomen in de kraamstal. Dit percentage is sindsdien nog verder afgenomen. Op ruim twee derde van de bedrijven wordt het biggenest ver-

warmd door middel van vloerverwarming (Baltussen, 1988).

In kraamopfokhokken worden meestal gedeeltelijke roostervloeren toegepast. Het dichte gedeelte wordt verwarmd middels vloerverwarming (lieft twee circuits, als de biggen na het spenen in het kraamhok blijven). De oppervlakte van het biggenest dient minstens 0,6m² te zijn (IKC-Veehouderij Afdeling Varkenshouderij 1993). Aanvullende plaatselijke verwarming met behulp van lampen of stralers wordt veel toegepast in de praktijk, met name in het begin van de zoogperiode.

In het rapport 'Energie in de Intensieve Veehouderij' (IKC-Veehouderij en Milieu, 1993, in voorbereiding) wordt het energieverbruik in de zeugenhouderij als volgt beschreven:

Energieverbruik zeugenbedrijven anno 1990:		
verwarming	3247 MJ per zeug per jaar	85%
ventilatie	306	8%
installaties	76	2%
overigen	191	5%
	<hr/>	<hr/>
totaal	3820 MJ/zeug/jaar	100%

Gezien het feit, dat het grootste gedeelte van de verbruikte energie in de zeugenhouderij wordt benut voor verwarming, lijken hier de meeste perspectieven voor besparing te liggen.

Voor de verwarmingskosten op zeugenbedrijven geldt een normbedrag (1992) van f 68,- per zeug per jaar. Een belangrijk gegeven hierbij is, dat volgens de TEA-gegevens (Thus, 1993) de verwarmingskosten sterk uiteenlopen tussen bedrijven: de 20% bedrijven met de laagste kosten besteden gemiddeld f 22,- terwijl de 20% bedrijven met de hoogste verwarmingskosten f 110,- per zeug per jaar uitgeven. Op Canadese gesloten bedrijven werd een spreiding in totaal energieverbruik (brandstoffen en elektriciteit) gevonden van 700 tot 1800 kWh per zeug per jaar (Barber et al., 1989). Deze grote verschillen geven aan, dat een groot aantal bedrijven verbetering kan boeken ten aanzien van besparingen op de verwarmingskosten.

Op basis van metingen in een kraamstal met 84 kraamboxen gedurende 4 jaar, bere-

kende Van 't Klooster (pers. med., 1993) het energieverbruik voor plaatselijke en ruimtelijke verwarming op zeugenbedrijven als volgt:

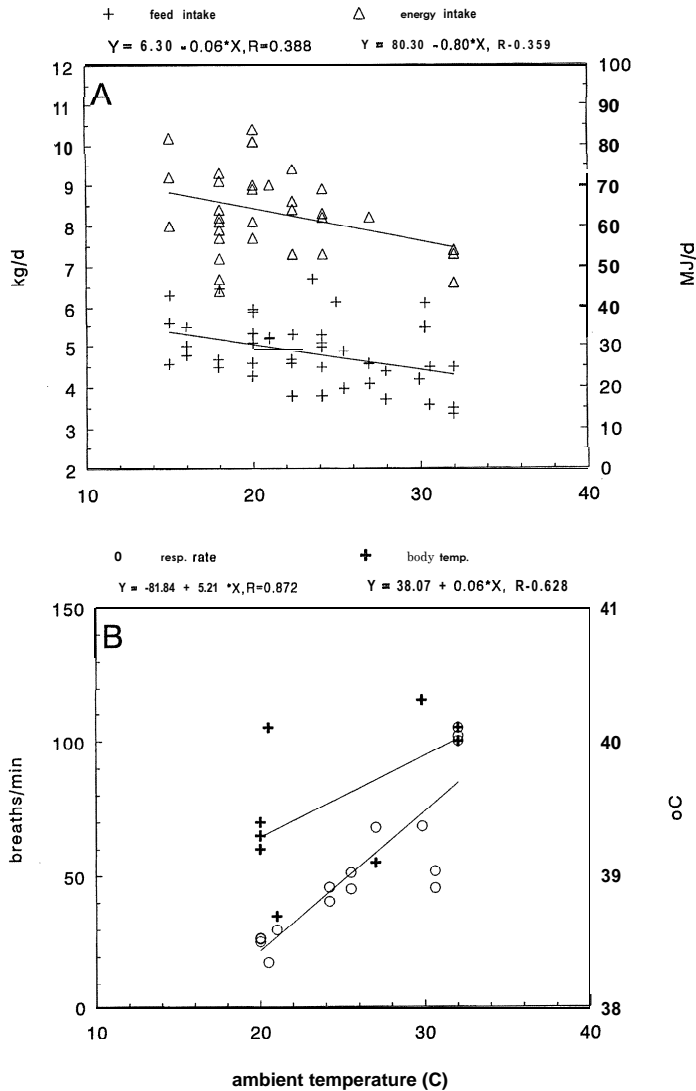
- lokale elektrische verwarming:
1584 MJ per KOH per jaar = 22%
- ruimteverwarming (excl. elektriciteit):
5600 MJ per KOH per jaar = 78%.

Het totaal aantal KOH (kraamopfokhokken) in Nederland bedraagt circa 400.000, per produktieve zeug is 0,55 KOH aanwezig. Het door Van 't Klooster berekende energieverbruik voor verwarming ($0,55 \times (1584+5600) = 3951$ MJ per produktieve zeug per jaar) komt wat hoger uit dan de IKC-berekening (3247 MJ per zeug per jaar). Het IKC gaat uit van de CBS-gegevens over 1990. Uitgangspunt kan zijn, dat het energieverbruik voor verwarming op zeugenbedrijven 3000 à 4000 MJ per zeug per jaar bedraagt, waarbij tenminste 3/4 gebruikt wordt voor ruimteverwarming. De lokale verwarming betreft verwarming van de biggennesten door middel van lampen, stralers of vloerverwarming. Voor ruimteverwarming in Nederlandse kraamstallen wordt circa 70 miljoen m³ aardgas per jaar gebruikt (gemiddeld rendement ketel en leidingen: 60%).

2 LITERATUURSTUDIE LITERATURE STUDY

In dit literatuuroverzicht wordt een korte beschrijving gegeven van de effecten van omgevingstemperatuur op productie en reproductie van lacterende zeugen en hun biggen. De temperatuurbehoefte van de jonge biggen is vrij nauwkeurig bekend (zie

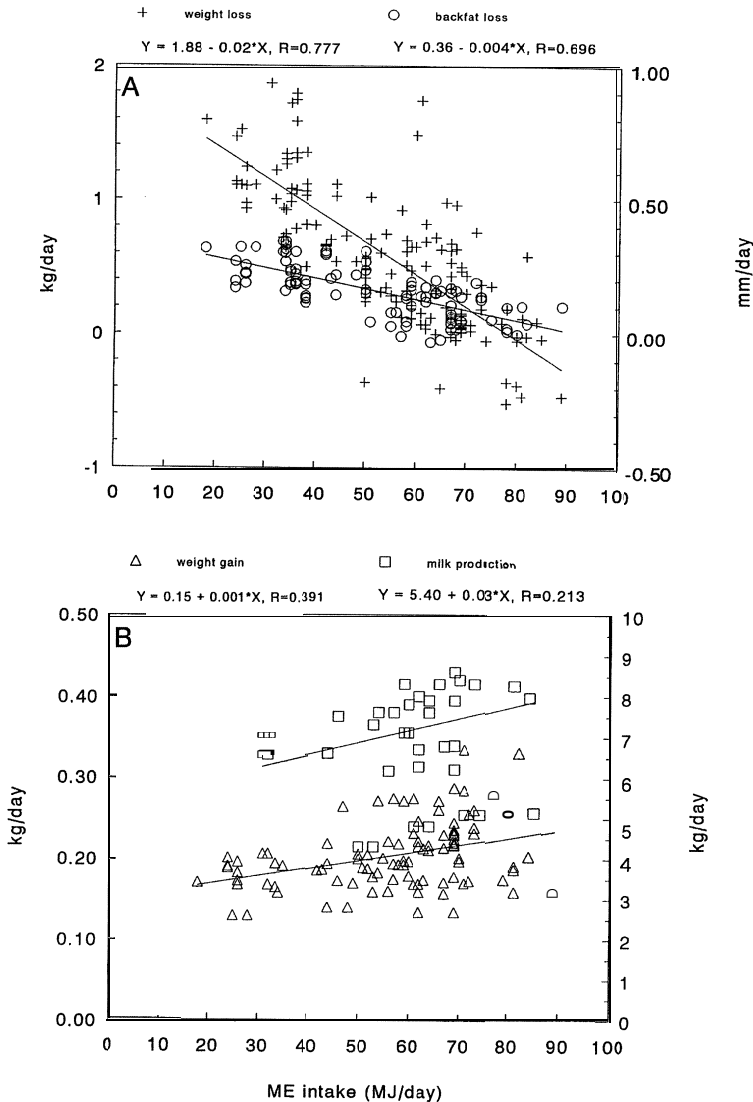
bijvoorbeeld Sterrenburg & Van Ouwerkerk, 1986b), zodat de voor het biggenest aanbevolen temperatuur (aflopend van circa 32°C direct na de geboorte tot circa 22°C bij spenen) betrouwbaar genoemd mag worden.



Figuur 1: Effect van omgevingstemperatuur op voeropname en energie-opname (A) en op lichaamstemperatuur en ademhalingsfrequentie (B) bij lacterende zeugen.
Figure 1: Effect of ambient temperature on feed intake and energy intake (A) and on body temperature and respiration rate (B) of lactating sows.

De optimale omgevings- en vloertemperatuur voor de zeug is minder goed bekend: de lacterende zeug is hoogproductief en dient dan ook een hoge voeropname te hebben. Een hoge voeropname leidt tot een hoge warmteproductie, zodat de optimale temperatuur voor deze diercategorie lager zal zijn dan voor bijvoorbeeld vleesvarkens van hetzelfde gewicht.

Uit figuur 1 blijkt, dat een te hoge temperatuur voor de zeug kan leiden tot verminderde voeropname en verminderde energieopname en tot een verhoogde lichaamstemperatuur en ademhalingsfrequentie. Figuur 2 geeft aan, dat de energie-opname van de zeug gerelateerd is aan haar lichaamsgevoel- en spekdikteverloop tijdens de lactatie. Bovendien heeft de energie-opname



Figuur 2: Effect van energie-opname tijdens lactatie op gewichts- en spekdikte-verloop van de zeug (A) en op melkproductie van de zeug en groei van de biggen (B).
 Figure 2: Effect of energy intake during lactation on weight and backfat changes of the sow (A) and on milk production of the sow and growth of the piglets (B).

van de lacterende zeug een positieve relatie met de melkproductie en met de groei van de biggen. Het verband tussen energie-opname en conditie van de zeug (lichaams-gewicht- en spekdikteverloop) is sterker dan het verband tussen energie-opname en melkproductie of tussen energie-opname en biggroei: voor de zeug ligt de prioriteit bij haar biggen en niet bij haar eigen lichaams-reserves.

Verder blijkt, dat een hoge omgevingstemperatuur tijdens de lactatie kan leiden tot een verlengd interval spenen-bronst en kleinere tomen bij de volgende worp. Dit effect verloopt gedeeltelijk, maar niet volledig, via een effect op de energie-opname. Het is dan ook wenselijk om lacterende zeugen niet bij te hoge temperaturen te huisvesten.

Een te lage temperatuur bij de uier zou problemen op kunnen leveren voor de bloedvoorziening en de melkproductie. Er zijn namelijk aanwijzingen uit onderzoek bij melkvee (Ewbank, 1966 en 1968), dat het celgetal van de melk hoger is bij lage omgevingstemperaturen. Het is vrijwel zeker, dat de uier van een koe een geheel andere huidtemperatuur, isolatiewaarde en dus warmteverlies heeft dan de rest van het lichaam. Het is aannemelijk dat dit ook voor zeugen geldt, hoewel hieromtrent weinig onderzoeksresultaten bekend zijn. Welch en Baxter (1984) publiceerden huidtemperaturen van verschillende lichaamsdelen van lacterende zeugen. Zij vonden, dat de temperatuur van de uier 5 tot 8°C hoger is dan de temperatuur op de rug van de zeug. De uier-huidtemperatuur werd veel minder beïnvloed door de omgevingstemperatuur dan de rug-huidtemperatuur (Welch en Baxter, 1984).

Een ander belangrijk punt met betrekking tot de thermoregulatie van zeugen is het verloop van de warmtebehoefte gedurende de lactatie: het is niet bekend of en zo ja, hoe deze warmtebehoefte varieert met bijvoorbeeld de melkproductie en het gewicht van de zeug. Uit onderzoek met melkvee (Maust et al., 1972; Bober et al., 1980) is gebleken, dat de melkproductie tijdens het middelste en laatste deel van de lactatie sterker wordt beïnvloed door hoge omgevingstemperaturen dan de melkproductie tij-

dens het eerste deel van de lactatie. Als dit ook bij zeugen het geval is, dan zou de temperatuur in de kraamstal vooral in de eerste week van de lactatie hoger mogen zijn, terwijl de temperatuur vrij snel hierna moet gaan dalen. Dit temperatuurverloop komt bovendien goed overeen met de behoefte van de jonge biggen, die vooral vlak na de geboorte gevoelig zijn voor lage temperaturen. Het effect van omgevingstemperatuur op de melkproductie in verschillende delen van de lactatieperiode van zeugen zou nader bestudeerd moeten worden.

Meer kennis omtrent de TNZ van lacterende zeugen kan ertoe leiden dat het klimaat in de kraamstal beter wordt afgestemd op de erin verblijvende dieren. Met deze aanpak zou ook een aanzienlijke energiebesparing bereikt kunnen worden.

Exacte gegevens omtrent de onderste en vooral ook de bovenste kritieke temperaturen voor lacterende zeugen ontbreken in de literatuur. Volgens Habeeb et al. (1992) ligt de bovenste kritieke temperatuur voor melkproductie bij koeien circa 3°C lager dan de bovenste kritieke temperatuur voor groei. Dit verschil wordt veroorzaakt door het veranderde metabolisme tijdens de lactatie. Het is te verwachten dat ook bij lacterende zeugen de bovenste kritieke temperatuur lager ligt dan bij groeiende varkens,

Er mag verondersteld worden (op grond van gegevens van melkkoeien), dat de uier van de zeug een geheel andere (hogere) temperatuurbehoefte heeft dan de rest van het lichaam. Dit zou betekenen, dat de vloertemperatuur voor een lacterende zeug hoger moet zijn dan de ruimtetemperatuur. Dit heeft als bijkomend voordeel, dat de biggen tijdens het zogen minder de kans lopen om te verkleumen.

Optimale combinaties van ruimtetemperatuur in de kraamstal, vloertemperatuur onder de zeug en vloertemperatuur onder de biggen zijn nog onvoldoende onderzocht. Bovendien dient het optimale verloop van deze temperaturen over de dag/nacht en over de zoogperiode nader bestudeerd te worden (Verstegen en Schrama, 1992). De laatste jaren worden computermodellen ontwikkeld om de optimale temperatuur voor verschillende diercategorieën te bepalen. Voorbeelden hiervan zijn:

BEZOVA	Sterrenburg & Van Ouwerkerk, 1986a + b, gebaseerd op Bruce & Clark, 1979.	duktie (en dus de temperatuurbehoefte) van de zeug proeftechnisch niet goed te scheiden is van die van de biggen.
COMFORT	PV Rosmalen, gebaseerd op BEZOVA, ontwikkeld als onderdeel van TMV (Technisch Model Varkensvoeding).	
NCIISWINE	Watt et al., 1987, gebaseerd op Bruce & Clark, 1979, berekent energiebalans van een stal.	
STALKL	IMAG Wageningen, berekent energiebalans van stallen, stook-grenzen en benodigde verwarming (op basis van aantal graduren onder de stook-grens).	

Probleem bij de diergerichte modellen (BEZOVA, COMFORT) is, dat de bovengrenzen van de comfortzone en de thermoneutrale zone niet nauwkeurig en betrouwbaar voorspeld worden. Er zijn onvoldoende literatuurgegevens beschikbaar over de thermoregulatie-processen van verschillende dier-categorieën bij hoge omgevings-temperaturen: de latente warmteverliezen worden daarom (nog) niet nauwkeurig voorspeld door de modellen.

In het geval van lacterende zeugen wordt onvoldoende rekening gehouden met het intensieve metabolisme van de uier: een lacterende zeug wordt door de modellen in feite behandeld als een vleesvarken van vergelijkbaar gewicht. De specifieke kenmerken van de lacterende zeug (uier-temperatuur en isolatiewaarde, voeropname, melkproductie) zouden beter in de modellen verdisconteerd moeten worden. Met betrekking tot een aantal van deze thermoregulatie-aspekten is nog onvoldoende kennis beschikbaar en dient dus nader onderzocht te worden (zie ook hoofdstuk 5).

Met behulp van modellen die uitgaan van de warmtebalans van een stal (STALKL, NCIISWINE) kan vaak wel de te verwachten energiebesparing worden ingeschat. De technische en economische resultaten hangen echter mede af van de respons van de dieren op de veranderende omgeving (bijvoorbeeld verlaagde ruimtetemperatuur) en deze respons is veel moeilijker vast te stellen.

Voor het klimaat in de kraamstal geldt als bijkomende complicatie dat de warmtepro-

3 THERMOREGULATIE VAN LACTERENDE ZEUGEN - DIER-NIVEAU

THERMOREGULATION OF LACTATING SOWS - ANIMAL LEVEL

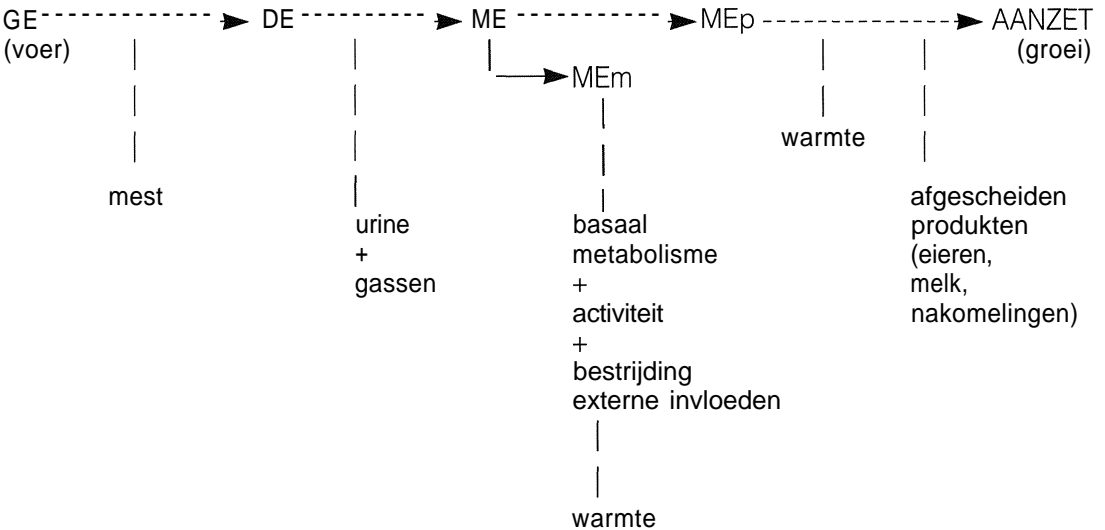
3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden berekeningen gegeven met betrekking tot de thermoregulatie van lacterende zeugen. De warmteproductie van de zeug wordt berekend uit de voeropname. De warmte-afgifte wordt opgesplitst in voelbare (straling, stroming, geleiding) en latente (verdampings-) warmte-afgifte. Door het kwantificeren van de warmteproductie en de warmte-afgifte van één dier wordt een indruk verkregen van de knelpunten bij de thermoregulatie. Dit hoofdstuk beschrijft de energiehuishouding van zeugen, uitgaande van de gewenste energie-opname tijdens de lactatie. De energie, die met het voer wordt opgenomen wordt gebruikt voor onderhoud en voor productie. Bij deze processen komt warmte vrij (zie figuur 3). Deze geproduceerde warmte zal het dier weer moeten

afgeven aan de omgeving in de vorm van voelbare warmte (straling, stroming en geleiding) en latente warmte (verdamping). Ook kan de geproduceerde warmte worden gebruikt voor het opwarmen van opgenomen voer en water. Er wordt gestreefd naar een evenwicht tussen warmteproductie (uit metabolisme, onderhoud en productie) en warmte-afgifte, zodat de lichaamstemperatuur constant blijft.

3.2 Energiebehoefte lacterende zeugen

De energiebehoefte van lacterende zeugen hangt af van het gewicht van de zeug, het aantal biggen, de melkproductie, de hoeveelheid beschikbaar lichaamsvet (opgebouwd tijdens de dracht) en van omgevingsfactoren. De dagelijkse onderhoudsbehoefte van lacterende zeugen is ongeveer 471 kJ ME



Figuur 3: Verdeling van voer-energie over verschillende processen in het lichaam (Young, 1975). GE = Gross Energy (bruto energie), DE = Digestible Energy (verteerbare energie), ME = Metabolizable Energy (metaboliseerde energie), MEm = ME voor maintenance (onderhoud), MEp = ME voor production (productie)

Figure 3: Distribution of feed energy between processes in the body (Young, 1975). GE = Gross Energy, DE = Digestible Energy. ME = metabolizable Energy, MEm = ME for maintenance, MEp = ME for production.

(Metaboliseerbare Energie) per kg metabo-
lisch gewicht (Mullan et al., 1989). Voor een
zeug van 150 kg lichaamsgewicht (metabo-
lisch gewicht = $W^{0,75} = 150^{0,75} = 43$ kg) is
dit 20 MJ per dag.

Per kg melk is circa 8 MJ ME nodig. Bij een
melkproductie van 7 kg per dag is dit 56 MJ
ME per dag. De totale energiebehoefte tij-
dens de lactatie is dan 76 MJ ME per dag.
Dit komt neer op 6 tot 6,5 kg voer (met 12
MJ ME per kg) per dag als het lichaamsgewicht
van de zeug tijdens de lactatie niet
afneemt.

Het grootste gedeelte van de zeugen en
gelten haalt deze voeropname niet (NRC,
1988). Een te lage voeropname kan veroor-
zaakt worden door een te hoge voeropname
tijdens de dracht of door te hoge omge-
vingstemperaturen tijdens de lactatie (een
temperatuurverhoging boven de onderste
kritieke temperatuur leidt tot een daling van
de voeropname van circa 1 gram per kg
lichaamsgewicht per °C temperatuurverho-
ging per dag (Whittemore en Morgan,
1990).

De gevolgen van een te lage voeropname
tijdens de lactatie zijn:

- lagere melkproductie (groei en gezond-
heid biggen worden negatief beïnvloed);
- gewichts- en conditieverlies van de zeug;
- verlaagd speengewicht van de biggen;
- verlengd interval spenen-bronst;
- verlaagd drachtigheidspercentage;
- meer embryonale en foetale sterfte;
- kleinere tomen.

Als tijdens de lactatie per dag 1 kg minder
voer wordt opgenomen dan de gewenste
hoeveelheid, ofwel 12 MJ ME te weinig, dan
kan dit leiden tot een reductie in melkpro-
ductie van 1,5 kg per dag of tot een
gewichtsverlies van de zeug van 0,25 kg
per dag (dit is 7 kg gewichtsverlies over een
28-daagse lactatieperiode).

Uitgaande van de gewenste energie-opna-
me (76 MJ ME per dag, geen gewichtsver-
lies) kan de hiermee gepaard gaande
warmteproductie worden berekend.

3.3 Warmteproduktie lacterende zeugen

Uitgaande van de gewenste energie-opna-
me tijdens de lactatie (op grond van
gewenste melkproductie en energiebalans

van de zeug) kan de dagelijkse warmtepro-
ductie berekend worden:

$$\text{warmteproductie (H)} = \text{ME}_{\text{em}} + (1 - k_w) \cdot (\text{ME} - \text{ME}_{\text{em}}) \quad (1)$$

ME = ME opname (MJ/dag)

ME_{em} = metaboliseerbare energie voor
onderhoud (MJ/dag)
= 0,471 * $W^{0,75}$ MJ/dag

k_w = efficiëntie van ME omzetting voor
melkproductie (= 0,65)

$W^{0,75}$ = metabolisch gewicht (kg)

Voor een zeug van 150 kg (metabolisch
gewicht = 43 kg, gewenste energie-opname
= 76 MJ/dag, $k_w = 0,65$) levert dit een
warmteproductie op van 40 MJ/dag. Dit
komt overeen met 460 Watt (= 460 J/s).

3.4 Warmte-afgifte lacterende zeugen

In figuur 4 staat de warmte-afgifte in relatie
tot de omgevingstemperatuur grafisch weer-
gegeven. In de thermoneutrale zone is de
totale warmte-afgifte onafhankelijk van de
omgevingstemperatuur. Boven de comfort
zone (CZ, C-D in figuur 4) en vooral boven
de bovenste kritieke temperatuur (BKT, E in
figuur 4) neemt het voelbare warmteverlies
af, terwijl de verdamping sterk toeneemt.
Beneden de onderste kritieke temperatuur
(OKT, C in figuur 4) neemt de warmtepro-
ductie toe, zodat de lichaamstemperatuur op
peil kan worden gehouden,

De warmte-afgifte van lacterende zeugen
kan als volgt worden weergegeven:

$$Q_{\text{totaal}} = Q_{\text{straling}} + Q_{\text{stroming}} + Q_{\text{geleiding}} + Q_{\text{opwarming drinkwater}} + Q_{\text{verdamping}}$$

Voor elke term van voelbaar warmteverlies
(straling, stroming, geleiding en opwarming
drinkwater) geldt een formule, gebaseerd
op de warmte-uitwisselende oppervlakken,
hun temperatuur en de bijbehorende
k-waarde (= het warmtedoorgangsgetal =
1/warmteweerstand = 1/isolatie):

$$Q = A_{\text{warmte-uitwisseling}} \cdot (T_1 - T_2) \cdot k \quad (2)$$

Warmteverlies in de vorm van straling is
evenredig met het verschil in temperatuur tot
de vierde macht en wordt als volgt berekend:

$$Q_{\text{straling}} = 0,95 * A * C * ((T_s + 273)^4 - (T_a + 273)^4) * k_{\text{straling}} \quad (3)$$

A = dieroppervlak = $0,09 * W^{0,66} (m^2)$

T_s = huidtemperatuur ($^{\circ}C$)

T_a = temperatuur van oppervlak, waarmee straling wordt uitgewisseld = omgevingstemperatuur ($^{\circ}C$)

0,95 = gedeelte van het totale dieroppervlak dat straling uitwisselt met de omgeving

C = constante van Stefan-Boltzmann = $5,67 * 10^{-8} (W/m^2K^4)$

273 = conversieconstante $^{\circ}C \rightarrow K$

k_{straling} = warmtedoorgangsgetal van de oppervlakken die straling uitwisselen (=0,89)

Het warmteverlies door stroming wordt als volgt berekend:

$$Q_{\text{stroming}} = A * (T_s - T_a) * k_{\text{stroming}} \quad (4)$$

k_{stroming} = warmtedoorgangsgetal voor stromingswarmte

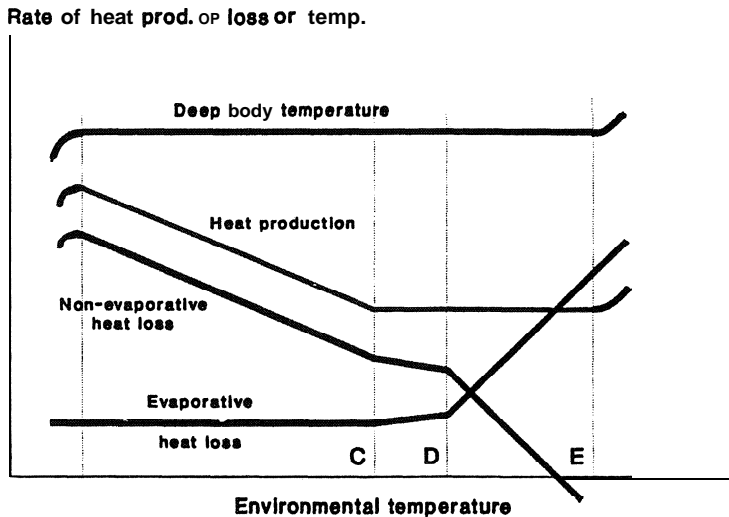
= $(15,7 * v^{0,6}) / W^{0,14}$ (droog)

= $(91,3 * v^{0,6}) / W^{0,14}$ (nat)

v = lichtsnelheid (m/s)

Bovenstaande formule geldt voor een staand dier, waarbij het gehele dieroppervlak beschikbaar is voor warmte-uitwisseling via stroming. Bij een liggend dier dient de dieroppervlakte gecorrigeerd te worden voor het contactoppervlak met de vloer.

De warmte-afgifte via geleiding wordt berekend uitgaande van het contactoppervlak tussen dier en vloer (dit is meestal circa $0,20 * A$; het contactoppervlak tussen dier en (koele) vloer is groter bij hogere omgevingstemperaturen):



bron: Mount (1974)

CD = comfortzone

CE = thermoneurale zone

Figuur 4: Warmteverlies in relatie tot omgevingstemperatuur (Mount, 1974).

C = onderste kritieke temperatuur, D = bovengrens comfortzone, E = bovenste kritieke temperatuur.

Figure 4: Heat loss in relation to ambient temperature (Mount, 1974).

C = lower critical temperature, D = upper limit comfort zone, E = upper critical temperature.

$$\begin{aligned}
Q_{\text{geleiding}} &= 0,20 * A * (T_b - T_v) * k_{\text{geleiding}} \quad (5) \\
T_b &= \text{lichaamstemperatuur} \\
T_v &= \text{vloertemperatuur} \\
k_{\text{geleiding}} &= \text{warmtedoorgangsgetal voor} \\
&\quad \text{geleiding} = 1/(r_v + r_t) \\
r_v &= \text{warmteweerstand vloer} \\
&= r_{v45} * (W/45)^{0,33} \\
&= 0,07 \text{ à } 0,50 \text{ (m}^2 * \text{K/W)} \\
r_t &= \text{warmteweerstand weefsel} \\
&= 0,02 * W^{0,33} \text{ (maximaal)} \\
&= 0,005 * W^{0,33} \text{ (minimaal)}
\end{aligned}$$

De warmte die wordt kwijtgeraakt via opwarming van het drinkwater kan als volgt worden berekend:

$$Q_{\text{water}} = (\text{drinkwatergift} * 4184 * (T_b - T_w)) / 86400 \quad (6)$$

drinkwatergift: in kg/dag

$$\begin{aligned}
T_w &= \text{temperatuur drinkwater} \\
4184 &= \text{warmtecapaciteit water} \\
&\quad \text{(J/kg * } ^\circ\text{C)}
\end{aligned}$$

$$86400 = 24 * 60 * 60 = \text{seconden per dag}$$

Voor het latente warmteverlies (verdampingswarmte) geldt een empirische formule:

$$\begin{aligned}
Q_{\text{verdamping}} &= 37 * A \text{ (maximaal, voor} \\
&\quad \text{een droog dier)} \\
&= 37 * A + 157 * A \text{ (maxi-} \\
&\quad \text{maal, voor een nat dier)} \\
&= A * (8 + 0,07 * W) \text{ (mini-} \\
&\quad \text{maal, beneden OKT)} \\
&= A * (8 + 0,07 * W) + \\
&\quad (T_a - \text{BCZ}) * ((37 * A) - (A * \\
&\quad (8 + 0,07 * W))) / (\text{BKT} - \text{BCZ}) \\
&\quad \text{(tussen BCZ en BKT)} \\
\text{BCZ} &= \text{bovengrens comfortzone (} ^\circ\text{C)} \\
\text{BKT} &= \text{bovenste kritieke temper-} \\
&\quad \text{atuur (} ^\circ\text{C)}
\end{aligned} \quad (7)$$

De formule voor verdampingswarmte is niet geldig voor temperaturen boven de BKT. De maximale verdampingswarmte volgens de formule geldt als de omgevingstemperatuur gelijk is aan de BKT. Uit figuur 4 blijkt echter dat het warmteverlies via verdamping ook boven de BKT nog toeneemt. Dit wordt niet teruggevonden in de berekeningsformule. Toekomstig onderzoek zou zich moeten richten op het verbeteren van de berekening van de verdampingswarmte. Het verdient wellicht aanbeveling om de ademhaling (vocht) van het dier hiervoor als uit-

gangspunt te nemen en de omgevingstemperatuur en luchtvochtigheid in de berekening te betrekken.

Het latente warmteverlies zou dan (analoog aan de berekening van voelbare warmteverliezen) berekend kunnen worden met de formule (Curtis, 1970):

$$\begin{aligned}
Q_{\text{verdamping}} &= w * A * V * (e_s - e_{ss}) \\
w &= \text{verdampingswarmte van} \\
&\quad \text{water (2,448 kJ per gram)} \\
A &= \text{dieroppervlak voor verdam-} \\
&\quad \text{ping} \\
V &= \text{waterdamp diffusie coëfficiënt} \\
e_a &= \text{waterdampdruk omgeving} \\
e_{ss} &= \text{verzadigde waterdampdruk} \\
&\quad \text{aan dieroppervlak}
\end{aligned}$$

Het latente warmteverlies zou opgesplitst moeten worden in latent warmteverlies via de huid (zweeten ofwel verdamping van op de huid gebracht water) en latent warmteverlies via de ademhaling (hijgen). Varkens zweeten nauwelijks, zodat zij voornamelijk zijn aangewezen op verdamping via de ademhalingswegen. Over de kwantitatieve verdeling van verdamping over huid en ademhaling bij varkens zijn nauwelijks gegevens bekend. Als de huid van het varken wordt natgemaakt kan de huidverdamping aanzienlijk toenemen.

Omdat bij hoge omgevingstemperaturen de warmte-afgifte via verdamping niet goed beschreven wordt door formule 7, worden de verdampingsverliezen in de navolgende berekeningen als 'sluitpost van de begroting' opgenomen.

Het totale warmteverlies van een lacterende zeug hangt dus af van A (dieroppervlak), T_b (lichaamstemperatuur), T_s (huidtemperatuur), T_a (omgevingstemperatuur), T_v (vloertemperatuur), T_w (watertemperatuur), de hoeveelheid drinkwater, de verschillende k-waardes en van de lichaamshouding van het dier (het gedeelte van de tijd dat het dier ligt, het contactoppervlak met de vloer). Bovendien geldt voor de verdampingsverliezen, dat ook de luchtvochtigheid een rol speelt, hoewel dit niet tot uiting komt in de genoemde formule.

Voorbeeld: een staande zeug van 150 kg ($W^{0,75} = 43$ kg), dieroppervlak = 2,46 m²,

lichaamstemperatuur = 39°C, huidtemperatuur = 32,5°C, weefselweerstand minimaal, bij een omgevingstemperatuur van 20°C, met een vloertemperatuur van 18°C, een vloer-warmteweerstand van 0,3m²*K/W (-> de k-waarde voor geleiding = 3,1), een watertemperatuur van 15°C, een watergift van 20 liter per dag en een k-waarde voor stroming van 2,0 (droge huid, luchtsnelheid 0,1m/s) geeft de volgende voelbare hoeveelheid warmte af aan haar omgeving:

$$Q_{\text{voelbaar}} = Q_{\text{straling}} + Q_{\text{stroming}} + Q_{\text{geleiding}} + Q_{\text{water}} \quad (8)$$

$$= 158 + 60 + 0 + 23 = 241 \text{ Watt}$$

Als dit zelfde dier ligt wordt de voelbare warmte-afgifte:

$$Q_{\text{voelbaar}} = 125 + 48 + 32 + 23 = 228 \text{ Watt}$$

Als het dier 50% van de tijd liggend doorbrengt, zal dus circa 235 Watt (dit is ruim 20 MJ/dag) aan voelbare warmte worden afgegeven

Onder de omstandigheden uit het voorbeeld zal de zeug met een warmteproductie van 460 Watt dus 225 Watt via verdamping kwijt moeten raken. Dit is 2,5x zoveel als de verdamping bij BKT voor een droog dier (37 * A = 91 Watt). Als er gestreefd wordt naar een maximale verdamping van 91 Watt, zal de zeug haar voeropname gaan verminderen om haar warmteproductie omlaag te brengen. Een totale warmteproductie van 326 Watt (235 + 91) wordt bereikt bij een voeropname van 43 MJ ME per dag, dit is minder dan 60% van de gewenste opname (76 MJ ME per dag). Een te lage voeropname tijdens de lactatie gaat ten koste van de (re)productieresultaten (zie hoofdstuk 2).

Om deze teruggang in de voeropname te voorkómen, zal de omgeving van de zeug aangepast moeten worden, zodat de warmte-afgifte kan stijgen. In de volgende paragraaf worden methodes hiervoor beschreven.

3.5 Mogelijkheden om de warmte-afgifte van lacterende zeugen te verbeteren en/of te vergroten

Zoals in het bovenstaande is aangegeven, wordt de warmte-afgifte door verschillende parameters beïnvloed. Een aantal van deze

parameters kan niet gevarieerd worden binnen een dier. Dit zijn: het lichaamsgewicht en hiermee het metabolisch gewicht en de oppervlakte van het dier, de lichaamstemperatuur, de huidtemperatuur en de constante van Stefan-Boltzmann.

Dit betekent dat de overige parameters gemanipuleerd moeten worden als de warmte-afgifte-mogelijkheden van het dier vergroot moeten worden.

De parameters, die *wel* gemanipuleerd kunnen worden zijn: de ruimtetemperatuur (T_a), de luchtsnelheid en daarmee de k-waarde voor stroming, de vloertemperatuur en de warmteweerstand van de vloer (r_v) en dus de k-waarde voor geleiding, de temperatuur van het drinkwater en de mate van 'natheid' van de huid (dit heeft invloed op de warmte-verliezen via verdamping).

Hierna worden de verschillende mogelijkheden nader besproken.

3.5.1 Verlagen omgevingstemperatuur

Het verlagen van de ruimtetemperatuur heeft effect op het warmteverlies door straling en op het warmteverlies door stroming. Als de ruimtetemperatuur 15°C is in plaats van 20°C, dan wordt het warmteverlies door straling voor een staand dier 212 Watt in plaats van 158 Watt. Het warmteverlies door stroming wordt bij 15°C 84 Watt in plaats van 60 Watt. Een verlaging van de ruimtetemperatuur van 20 naar 15°C levert dus een extra warmteverlies van 54 + 24 = 78 Watt op. Dit brengt het totale voelbare warmteverlies van een staand dier op 241 + 78 = 319 Watt. De verdampingswarmte moet dan 141 Watt bedragen (1,5x de verdamping bij BKT).

Deze oplossing heeft het voordeel, dat een aanzienlijke energiebesparing (verwarmingskosten) wordt bereikt. Er moet wel rekening gehouden worden met de temperatuurbehoeften van de zuigende biggen: voor de biggen zullen wellicht extra voorzieningen moeten worden aangebracht.

3.5.2 Verhogen luchtsnelheid

Het verhogen van de luchtsnelheid van 0,1 naar 0,5m/s levert een k-waarde voor stroming op van 5,1 in plaats van 2,0. Het warmteverlies door stroming wordt dan 158 Watt in plaats van 60 Watt. Het totale voelbare warmteverlies komt daarmee op 339

Watt, wat een verdamping nodig maakt van 121 Watt (1,3x de verdamping bij BKT). Het verhogen van de luchtsnelheid kan echter gemakkelijk tot tocht leiden wat vooral voor de biggen gezondheidsrisico's met zich mee kan brengen.

3.5.3 Verlagen vloertemperatuur (vloerkoe-ling) / verlagen warmteweerstand vloer

Het verlagen van de vloertemperatuur of het verlagen van de warmteweerstand beïnvloedt het warmteverlies door geleiding. Dit heeft dus voornamelijk effect op het warmteverlies van een liggend dier. Als de warmteweerstand van de vloer 0,1 (k-waarde voor geleiding = 7,7) in plaats van 0,3 is, dan wordt het warmteverlies door geleiding (bij dezelfde vloertemperatuur) 79 Watt in plaats van 32 Watt bij een liggend dier. Dit heeft hetzelfde effect als het verlagen van de vloertemperatuur van 18 naar -13°C.

Het vergroten van de warmte-afgifte via de vloer is voor lacterende zeugen niet aan te bevelen, gezien de weefselisolatie en huidtemperatuur van de uier: bij een te koude vloer treedt snel uierontsteking op. Bovendien is een lage vloertemperatuur (tijdens het zogen) voor de biggen zeker niet gewenst.

3.5.4 Verlagen drinkwatertemperatuur (koud water verstrekking)

Het verlagen van de drinkwatertemperatuur van 15 naar 5°C veroorzaakt een Q_{water} van 33 Watt in plaats van 23 Watt. Door het verlagen van de drinkwatertemperatuur zal dus nooit een extra warmteverlies van 100 Watt bereikt kunnen worden.

3.5.5 Bevochtigen huid (drip cooling)

Het natmaken van de huid verhoogt het warmteverlies door stroming en het latente warmteverlies. Het drip cooling systeem gaat niet uit van een volledig natte huid, maar van (intermitterende) periodes van druppelen/nevelen, zodat het dier de kans krijgt het vocht te verdampen en bovendien hokbevuiling en waterverbruik minimaal gehouden worden. Bij een gedeeltelijk natte huid (bijvoorbeeld 10%, k-waarde voor stroming = 2,9) zal het warmteverlies door stroming voor een staand dier 89 Watt zijn in plaats van 60 Watt. Het totale voelbare warmteverlies wordt dan 270 Watt voor een staand dier.

De verdampingswarmte moet dan 190 Watt bedragen. Voor een dier, dat een gedeeltelijk (10%) natte huid heeft, is de maximale verdamping $(37 + 0,10 * 157) * A = 130$ Watt. Bij een 10% natte huid zal het dier dus nog steeds 60 Watt niet kwijt kunnen. Om een totaal warmteverlies van 460 Watt te bereiken, zal de huid voor ruim 25% van het oppervlak nat moeten zijn.

3.6 Temperatuurbehoefte van de biggen

Sterrenburg en Van Ouwkerk (1986b) geven de volgende normen voor jonge biggen, afhankelijk van huisvesting en voerniveau (tabel 1 en 2).

Het is duidelijk dat jonge biggen een veel hogere temperatuur prefereren dan hun moeder. Dit geldt vooral vlak na de geboorte, aangezien de biggen dan nog nat zijn

Tabel 1: Warmteproductie van biggen tijdens de zoogperiode (Sterrenburg en Van Ouwkerk, 1986b)

Table 1: Heat production of piglets during the suckling period (Sterrenburg and Van Ouwkerk, 1986b)

gewicht (kg)	voerniveau (* onderhoud)			
	1	2	3	4
2	9	11	14	16
5	17	22	27	32
10	29	37	46	54

(groot warmteverlies via verdamping) en weinig reserves hebben. Verkleuming van de biggen dient voorkómen te worden, aangezien hierdoor vitaliteitsverlies, gebrek aan biest-/melkopname en dus gewichtsverlies en sterfte op kunnen treden.

De temperatuur in de kraamstal mag dan ook niet alleen gebaseerd zijn op de behoefte van de zeug. Er zal ook rekening gehouden moeten worden met de biggen. Om te voorzien in de behoefte van de biggen worden biggennesten ingericht, waarin lokale verwarmingssystemen worden toegepast (vloerverwarming, lampen). Op deze manier wordt een microklimaat voor de biggen gecreëerd. Echter, ook de directe omgeving van de zeug mag niet onaantrekkelijk zijn voor de biggen, aangezien de biggen voor hun voedsel (melk) afhankelijk zijn van de zeug. Bovendien kan een groot temperatuurverschil over een geringe afstand gemakkelijk tot tocht leiden.

3.7 Conclusies

De tegenstrijdige behoeften van zeug en biggen kunnen niet volledig worden opgelost door het scheppen van een microklimaat voor de biggen.

In de praktijk zal een afweging gemaakt moeten worden waarin de zeug, de biggen en het energieverbruik in de kraamstal betrokken dienen te worden.

Uit paragraaf 3.5 blijkt dat de oplossing van het 'klimaat-dilemma' gezocht zal moeten worden in een combinatie van verschillende maatregelen,

Het blijkt dat (bij in de praktijk gebruikelijke kraamstaltemperaturen en uitgaande van de gewenste voeropname van de lacterende zeug) de zeug haar geproduceerde warmte niet kwijt kan aan de omgeving. Verschillende mogelijkheden om de warmte-afgifte te vergroten zijn doorgerekend en het blijkt, dat bijvoorbeeld het verlagen van de ruimte-

Tabel 2: Onderste kritieke temperatuur (OKT) voor biggen tijdens de zoogperiode (Sterrenburg en Van Ouwerkerk, 1986b)

Table 2: Lower critical temperature (OKT) of piglets during the suckling period (Sterrenburg and Van Ouwerkerk, 1986b)

gewicht (kg)	OKT (°C)			
	voerniveau (* onderhoud)			
	1	2	3	4
stro				
2	30	27	23	19
5	28	24	20	15
10	26	22	17	11
beton				
2	33	30	28	25
5	31	28	24	21
10	29	25	22	18
metaalrooster				
2	33	30	28	26
5	31	28	25	22
10	29	26	22	18

temperatuur in de kraamstal effectiever is dan het verstrekken van koud drinkwater. Om de warmte-afgifte in evenwicht te brengen met de warmteproductie dient een combinatie van verschillende maatregelen toegepast te worden. De mogelijkheden tot warmte-afgifte dienen uitgebreid te worden. Als de mogelijkheden tot warmte-afgifte niet verruimd worden, zal de zeug andere maatregelen nemen om haar energiebalans in stand te houden. Deze maatregelen zullen vooral bestaan uit het beperken van de voeropname en het gebruiken van lichaamsreserves voor de melkproductie. Het hiermee gepaard gaande conditieverlies kan een negatieve invloed hebben op de vruchtbaarheid (verlengd interval spenen-bronst, kleinere tomen bij de volgende worp).

Bij de berekening van de warmteproductie van lacterende zeugen is uitgegaan van gelijkblijvend lichaamsgewicht tijdens de lactatie. Deze aanname leidt tot een hoge gewenste energie-opname en dus tot een hoge warmteproductie. De temperatuur in de kraamstal zal dan vrij laag moeten zijn om de zeug in staat te stellen de geproduceerde warmte af te geven.

In de praktijk verliezen zeugen gewicht tussen partus en spenen en het is de vraag of dit ongewenst is: de overall efficiëntie van de omzetting van voer tijdens de dracht via aanzet van lichaamsweefsel tot melkproductie (mobilisatie) tijdens de lactatie is ongeveer even groot als de efficiëntie van de rechtstreekse omzetting van voer tijdens de zoogperiode in melk (0,65 à 0,75). Tijdens de lactatie is het dus voor de zeug energetisch efficiënter om lichaamsweefsel te mobiliseren ten behoeve van de melkproductie (efficiëntie circa 0,85) dan om voer rechtstreeks in melk om te zetten (efficiëntie circa 0,65).

De mobilisatie van 1 kg lichaamsweefsel levert 15,5 MJ energie op. Bij gebruik voor melkproductie (efficiëntie 0,85) draagt 1 kg lichaamsgewicht dus 13,2 MJ ME bij. Eén kg voer (EW 1,12,5 MJ ME/kg, efficiëntie voer naar melk 0,65) levert 8,1 MJ melk.

Voor de melksynthese komt 1 kg lichaamsweefsel dus overeen met circa 1,6 kg voer. Een te groot gewichtsverlies tijdens de lactatie leidt tot een verlengd interval spenen-

dekken en tot minder biggen bij de volgende worp.

Bij het optimaliseren van het energiemetabolisme van lacterende zeugen zal dus eigenlijk de gehele reproductiecyclus betrokken moeten worden. Dan kan een optimale combinatie van voeropname en lichaamsweefsel-mobilisatie bepaald worden in afhankelijkheid van bijvoorbeeld pariteit en/of lichaamsgewicht en spekdikte bij werpen.

4 MOGELIJKHEDEN TOT ENERGIEBESPARING - BEDRIJFS-NIVEAU

POSSIBILITIES FOR ENERGY SAVING- FARM LEVEL

4.1 Algemeen

Barber et al. (1989) geven een uitgebreide lijst met ideeën voor energiebesparing in de intensieve veehouderij. De lijst is aangevuld met coderingen, die de toepasbaarheid en de opgeleverde energiebesparing voor de Nederlandse situatie aangeven (tabel 3). De genoemde methodes voor energiebesparing verschillen met betrekking tot toepasbaarheid en verwacht resultaat. De toepasbaarheid van de systemen hangt samen met de benodigde investeringskosten: als een systeem eenvoudig aangelegd kan worden (of geïntegreerd in een om andere redenen noodzakelijke verbouwing of uitbreiding) zal het eerder geïmplementeerd worden. De codering voor toepasbaarheid (1 = gemakkelijk toepasbaar, 2 = moeilijk toepasbaar) kan dus ook gelezen worden als een codering voor investeringskosten of termijn (1 = goedkope, op alle bedrijven direct toepasbare (korte termijn-) oplossing, 2 = dure (lange termijn-) oplossing, alleen bruikbaar bij nieuwbouw of verbouwing). Voor een aantal systemen geldt, dat nader onderzoek gewenst is om de mogelijkheden voor de praktijk te kunnen kwantificeren. Het effect van verlagen van de ruimtetemperatuur bijvoorbeeld, is in kraamstallen nog onvoldoende onderzocht: er moet een temperatuur gezocht worden waarbij de technische resultaten (zeug en biggen) optimaal zijn en de energiekosten voor verwarming minimaal. De arbeidsbehoefte (reinigen, controleren) en benodigde investeringen zullen hierbij ook betrokken moeten worden. Er zal ook onderscheid gemaakt moeten worden tussen ruimtetemperatuur en vloertemperaturen. Als de optimale temperatuur voor elke 'faktor' (zeug, biggen en energie) bekend is, kan een rekenmodel worden opgesteld om de economisch meest aantrekkelijke ruimte- en vloertemperaturen te berekenen voor elke specifieke situatie (bedrijfsinrichting en -systeem, beschikbare verwarmingssysteem, brandstoffen, etcetera).

4.2 De kraamstal

Een optimaal klimaat in de varkensstal wordt bereikt door een optimale combinatie/afstemming van ventilatie en verwarming. De klimaatregeling in de stal speelt dan ook een belangrijke rol bij het in stand houden van een goed stalklimaat en bij het realiseren van energiebesparende maatregelen. Door *efficiëntere verwarming en ventilatie* (HR ketels, betere regel-apparatuur) kan het energieverbruik worden teruggebracht van 3820 tot 3500 MJ per zeug per jaar, ofwel 92% van het huidige verbruik (IKC-Veehouderij en Milieu, 1993).

Door *grondbuisventilatie* toe te passen kan op de stookkosten ongeveer f 50,- per KOH (kraamopfokhok) per jaar worden bespaard (Van 't Klooster & Duives-Cahuzak, 1991). De investeringskosten hangen af van de stal (nieuwbouw/verbouw, draagkracht bodem, ligging buizen).

Als meer *natuurlijke ventilatie* wordt toegepast, als *gesloten biggenonderkomens* worden gebruikt en als gebruik wordt gemaakt van *warmte-terugwinnings-technieken*, kan het energieverbruik op zeugenbedrijven dalen tot 2850 MJ per zeug per jaar. Dit is 75% van het huidige verbruik (IKC-Veehouderij en Milieu, 1993).

Bovenstaande maatregelen gaan uit van een gelijkblijvende ruimtetemperatuur in de kraamstal.

Bij een *verlaging van de ruimtetemperatuur* in kraamstallen kan het energie-verbruik voor ruimteverwarming nog aanzienlijk verder worden teruggedrongen. Van 't Klooster (pers med., 1993) berekende dit als volgt:

ruimte-temperatuur	stookgrens	uren/jaar < stookgrens	graaduren/jaar bijverwarming
22°C	9°C	4411	22575
19°C	5°C	2603	9473
17°C	2°C	1477	4008
15°C	-1°C	593	1411

Tabel 3: Maatregelen om energie te besparen in de varkenshouderij (gebaseerd op Barber et al., 1989)

Table 3: Measures to save energy in pig husbandry (based on Barber et al., 1989)

	Impl ¹	Toep ²	Persp ³
Direct toepasbaar			
lampen regelmatig reinigen	2	1	2
efficiëntere lampen installeren	1	1-2	1-2
energiezuinige lichtregimes toepassen	2	1-2	1-2
daglicht benutten	1	1	2
energiezuinige ventilatoren installeren	1	2	1-2
ventilatoren en bijbehorende apparatuur regelmatig reinigen	2	1	2
onnodige luchtstroom-obstructies verwijderen	1	1	2
zonnestraling vermijden	2	1-2	2
effectiviteit ventilatie verbeteren	1	1-2	2
meetventilatoren toepassen	2	1	1
goed wasbare materialen toepassen	2	1-2	2
waterbesparende reinigingssystemen	1	1-2	2
schoonmaakmiddelen gebruiken	1	1	2
warm water gebruiken bij reiniging	1	1	2
meer isoleren	1	2	1-2
leklucht voorkómen, goed afdichten	1	1	1-2
tocht vermijden	1	1	1-2
efficiënte verwarmingssystemen	1	2	1
over-ventilatie voorkómen	2	1	1-2
goed kopere brandstoffen gebruiken	2	1-2	2
stro gebruiken	2	2	1
Lange termijn oplossing (nader onderzoek nodig)			
natuurlijke ventilatie toepassen	2	2	1
warmte-opslag toepassen	2	2	2
alternatieve koelsystemen installeren	2	2	2
stallucht schoonhouden door middel van filtratie of desinfectie	2	2	2
plaatselijke verwarming toepassen	1	2	1
microklimaten creëren	1	1-2	1
stallucht chemisch ontvochten	2	2	2
warmtewisselaars installeren	2	2	1-2
grondwarmte benutten	1-2	2	1-2
zonnewarmte benutten	2	2	1-2
afvalwarmte benutten	2	2	1-2
warmte verplaatsen	2	2	1-2
staltemperatuur verlagen	2	1	1
staltemperatuur 's nachts omlaag	2	1	1
groepshuisvesting ('huddling' benutten)	2	2	1-2
controle door de dieren (door middel van switch)	2	2	1-2
controlesystemen verfijnen (micro-processors)	1	2	1

¹ Implementatie: 1= wordt op grote schaal toegepast

2= wordt niet of nauwelijks toegepast

² Toepasbaarheid: 1= is (zeer) goed toepasbaar

2= in geringe mate toepasbaar, dure investering nodig

³ Perspectief energiebesparing: 1= veel energiebesparing mogelijk

2= geringe energiebesparing mogelijk

Bij een verlaging van de (gemiddelde!) ruimtetemperatuur in de kraamstal van 19°C naar 15°C zal dus (9473 - 1411 =) 8062 minder graaduren bijverwarmd hoeven te worden. Dit is een besparing van (8062 / 9473 =) 85%, ofwel (0,85 * 70 miljoen m³ =) bijna 60 miljoen m³ aardgas per jaar.

Deze benadering gaat voorbij aan de vraag of de jonge biggen een ruimtetemperatuur van 15°C tolereren (waarschijnlijk niet, zie Nienaber et al., 1985). Bij een minder rigoureuze verlaging van de ruimtetemperatuur, bijvoorbeeld van 19°C naar 17°C, zal het aantal graaduren verwarming afnemen van 9473 naar 4008, een verlaging met (9473 - 4008 = 5465 =) 58%, ofwel ruim 40 miljoen m³ aardgas per jaar.

Uit deze berekening is wel duidelijk, dat een lichte verlaging van de ruimtetemperatuur in de kraamstal al een forse energiebesparing kan opleveren. Het is dan ook zinvol om te onderzoeken of het mogelijk is om de temperatuur in de kraamafdeling sneller af te bouwen. Dit kan bijvoorbeeld gerealiseerd worden als het afbiggen binnen een afdeling gesynchroniseerd wordt: de ruimtetemperatuur hoeft dan slechts gedurende een korte periode hoog te blijven. Een andere mogelijkheid is het instellen van een dag-nacht-ritme, waarbij de temperatuur 's nachts enige graden lager wordt gehouden dan overdag.

De optimale temperatuur in de kraamstal hangt ook samen met de uitvoering van het kraamhok, met name de vloeruitvoering. Op het Varkensproefbedrijf in Sterksel wordt hier veel onderzoek naar gedaan. Gezocht wordt naar een optimale vloeruitvoering om de uitval van biggen tijdens de zoogperiode te beperken. De uitval van jonge biggen wordt vooral veroorzaakt door doodliggen door de zeug, niet levensvatbaar zijn en vermageren. Deze oorzaken hebben in feite alle te maken met de vitaliteit van de biggen in de eerste dagen na de geboorte: vitale biggen vinden snel de uier, nemen goed biest op en zijn actief, zodat het gevaar van verkleumen gering is. Een kraamhokuitvoering die de vitaliteit van de big in de eerste uren/dagen na de geboorte positief beïnvloedt zal ertoe leiden, dat de ruimtetemperatuur wat lager gehouden kan worden, zonder dat de biggen in de problemen komen. Een dergelijke uitvoering wordt gekenmerkt

door kunststof roostervloeren met dichte vloerelementen met vloerverwarming naast de zeug en in het biggenest en een ietwat verhoogde vloer onder de zeug.

Als de biggen bij de geboorte voldoende zwaar zijn, goed worden opgevangen (droog en warm) en na de geboorte snel biest opnemen en vitaliteit opbouwen, zal de ruimtetemperatuur in de kraamstal ook lager mogen zijn dan in aanwezigheid van zwakke biggen. Plaatselijke verwarming voor de biggen blijft dan wel van belang om de kans op verkleumen te verkleinen.

4.3 Plaatselijke verwarming

Van de lokale verwarmingssystemen verbruiken infraroodlampen en keramische stralers de meeste energie. Vloerverwarming is de meest energiezuinige methode voor de verwarming van biggenesten (Peerlings & Van 't Klooster, 1988). De energiekosten (en de investeringskosten) voor warmwater-vloerverwarming zijn waarschijnlijk het laagst (GD/VPB-S/DLV, 1992). Vloerverwarming zal in de eerste paar dagen van de zoogperiode gecombineerd moeten worden met een warmtelamp of een min of meer gesloten biggenonderkomen, aangezien alleen de warmte van de vloer onvoldoende is om de biggen warm te houden (Siegl et al., 1989). Tabel 4 geeft een overzicht van het energieverbruik van verschillende nestverwarmingssystemen.

Uit de resultaten van Weber (1987) blijkt duidelijk dat een gesloten biggenkist het laagste energieverbruik heeft en het grootste verschil in luchttemperatuur tussen het biggenest (25°C) en de omgeving van de zeug (19°C) kan handhaven. Een open biggenest zonder vloerverwarming kost de meeste energie, aangezien in deze situatie een sterkere warmtelamp nodig is en de ruimtetemperatuur in de kraamstal hoger zal zijn.

In de praktijk is het gebruikelijk om bij toenemende leeftijd van de biggen de warmtelampen steeds iets hoger te hangen om de warmte-afgifte aan de biggen te verkleinen. Dit is uit het oogpunt van energiebesparing niet gunstig, omdat het energieverbruik gelijk blijft bij afnemende warmtevraag. Thermostatische klimaatregeling kan een aanzienlijke besparing op de verwarmingskosten opleveren. Onderko-

Tabel 4: Literatuurgegevens over energieverbruik van verschillende nestverwarmingssystemen
 Table 4: Literature data concerning energy consumption of various creep area heating systems

Referentie	Systeem	Energieverbruik
Weber, 1987	1 dichte biggenkist + lamp 150 Watt (22 dagen), T _{big} =25°C, T _{zeug} =19°C	87 kWh per worp
	2 half-open biggenkist + lamp 150 Watt (28 dagen), T _{big} =23°C, T _{zeug} =18°C	126 kWh per worp
	3 biggenest zonder vloerverwarming + lamp 250 Watt (31 dagen), T _{big} =23°C, T _{zeug} =21°C	238 kWh per worp
	4 biggenest met vloerverw. (39 dagen) + lamp 150 Watt (13 dagen), T _{big} =24°C, T _{zeug} =20°C	128 kWh per worp
Peerlings en Van 't Klooster, 1988	1 elektr. vloerverwarming geweven mat (28 dagen)	50 kWh per worp
	kabels (28 dagen)	25 kWh per worp
	platen (28 dagen)	36 kWh per worp
	2 lampen 250 Watt, oud (28 d.)	168 kWh per worp
	170 Watt, nieuw (28 d.)	115 kWh per worp
	150 Watt, oud (28 d.)	101 kWh per worp
	100 Watt, nieuw (28 d.)	67 kWh per worp
	3 lampen + handm. therm. regeling 250 Watt (28 dagen)	87 kWh per worp
170 Watt (28 dagen)	59 kWh per worp	
4	autom. curve, vermogen stappen 250 Watt (28 dagen)	84 kWh per worp
	170 Watt (28 dagen)	50 kWh per worp
5	keramische straler, thermost. handveresteld 250 Watt (28 dagen)	78 kWh per worp
	400 Watt, 1 straler per 2 tomen (28 dagen)	63 kWh per worp
6	biggenkist met 1 ^e week 2 lampen, 2 ^e week 1 lamp (60 W)	30 kWh per worp
	onderkomen met 1 ^e 2 wkn 2 lampen, 2 ^e 2 wkn 1 lamp (60 W)	60 kWh per worp
8	onderkomen met vlakstraler (15 dagen, 115-165 W)	40-60 kWh per worp
Kuhn, 1992	1 infraroodlamp (150 Watt) + spaarschakelaar	80 kWh per worp
	2 vloerverwarming + lamp (150 Watt) gedurende 3 dagen	41 kWh per worp
	3 ruimteverwarming warmwater	39 kWh per worp
	4 ruimteverwarming met gas	39 kWh per worp
	5 gasstralers	147 kWh per worp
	6 1+3	119 kWh per worp
	1+4	119 kWh per worp
	8 2+3	80 kWh per worp
Johnston et al., 1993	1 250 Watt lamp (36 dagen)	114 kWh per worp
	2 onderkomen + 100 Watt lamp (36 dagen)	65 kWh per worp

mens zorgen ook voor een substantiële verlaging van het energieverbruik (Siegl et al., 1989). Gesloten biggenonderkomens worden in de praktijk echter weinig toegepast, omdat ze het overzicht over de biggen ernstig belemmeren.

Combinaties van verschillende verwarmingssystemen kunnen perspectief bieden uit het oogpunt van energiebesparing. Meer (praktijkgericht) onderzoek hiernaar, waarbij de technische en economische resultaten niet vergeten mogen worden, is gewenst.

5 DISCUSSIE EN CONCLUSIES

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

5.1 Discussie

Het energieverbruik in kraamstallen kan teruggedrongen worden. De verwarmingskosten vormen het belangrijkste onderdeel van het energieverbruik (zie paragraaf 1.3). Besparing op de verwarmingskosten biedt dan ook de beste perspectieven in het kader van energiebesparing.

Energiebesparing in de kraamstal kan op drie manieren bereikt worden:

- a temperatuurverlaging:
ruimtetemperatuur omlaag, snellere temperatuur daling tijdens de zoogperiode, temperatuur 's nachts lager -> effect op de biggen onvoldoende bekend, nader onderzoek nodig.
- b technische maatregelen:
isolatie, warmtewisselaars, benutting grondwater, thermostaatregeling -> breed toepasbaar, geen consequenties voor (stal)temperatuur, geen negatief effect op de dieren.
- c verwarmingssystemen:
vloerverwarming in plaats van lampen, stro en/of onderkomens in plaats van warmtebronnen, plaatselijke verwarming in plaats van ruimteverwarming -> uit energiebesparingsoogpunt erg interessant, optimale combinatie van ruimte- en plaatselijke temperaturen dient nader bestudeerd te worden.

De toepassingsmogelijkheden van de verschillende energiebesparende maatregelen in de zeugenhouderij zullen grotendeels afhangen van de bedrijfssituatie (mogelijkheden voor verbouw, isolatie) en van de economische perspectieven (investeringskosten, energie- en arbeidskosten en opbrengsten).

In hoofdstuk 4 is vastgesteld, dat een relatief geringe daling van de ruimtetemperatuur in de kraamstal al tot forse besparingen kan leiden: een staltemperatuur van 17 in plaats van 19°C levert een besparing op van 58% ofwel van 40 miljoen m³ aardgas per jaar.

Een gedeelte van deze energiebesparing

zal weer teniet gedaan worden door een extra behoefte aan plaatselijke verwarming ten behoeve van de uier en de biggen.

Als 50% van deze energiebesparing door de verlaging van de ruimtetemperatuur (= 20 miljoen m³ aardgas) weer benut zou worden voor extra plaatselijke verwarming dan betekent dat een toename van 60% op het huidige energieverbruik voor plaatselijke verwarming. Dit lijkt ruim voldoende om een eventueel nadelig effect van de daling van de ruimtetemperatuur op de prestaties van de biggen te compenseren.

Verlagen van de ruimtetemperatuur in combinatie met gesloten biggenonderkomens zal de grootste energiebesparing opleveren omdat dan geen extra energie voor plaatselijke verwarming nodig zal zijn. De optimale ruimtetemperatuur is echter nog niet goed bekend: de biggen moeten er niet van weerhouden worden om de zeug te bezoeken. Gesloten onderkomens stuiten bij veel zeugenhouders op weerstanden vanwege het gebrek aan zicht op de biggen. In plaats van gesloten onderkomens zou vloerverwarming in het biggenest en bij de uier perspectieven kunnen bieden waarbij de ruimtetemperatuur in de kraamstal naar beneden kan. Experimenteel (praktijk-) onderzoek is nodig om de optimale combinatie van ruimteverwarming, plaatselijke verwarming en strooisel of biggenkist vast te stellen, waarbij aan de behoefte van de zeug, de behoefte van de biggen en de behoefte aan energiebesparing voldaan wordt.

Meer aandacht verdient ook het optimale temperatuurverloop over de dag (dag-nacht-ritme) en het gewenste verloop gedurende de zoogperiode (hoe snel mogen de temperatuur bij de zeug en de temperatuur bij de biggen afnemen?).

Tabel 5 geeft een vereenvoudigd schema weer, met mogelijke maatregelen toegepast op de situatie in de kraamstal en effecten op zeug, biggen, energieverbruik, arbeidsbehoefte en investeringskosten.

5.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek

De genoemde hiaten in kennis (zie hoofdstuk 2) zijn verwerkt tot aanbevelingen voor toekomstig onderzoek. De voorgestelde proeven kunnen fundamentele informatie verschaffen met betrekking tot de ligging van de thermoneutrale zone van lacterende zeugen. Met behulp van deze kennis kunnen computermodellen voor de berekening van warmtebalansen worden aangepast en verbeterd. Dit kan leiden tot het ontwerp van energiezuinige stallen.

In praktijkgerichte proeven kunnen verschillende verwarmingssystemen voor kraamstallen rechtstreeks vergeleken worden met betrekking tot produktieresultaten (zeug en biggen) en economische situatie (met name energieverbruik en investeringskosten).

De in dit rapport genoemde aspecten geven aan, dat het met de huidige beschikbare kennis moeilijk is om het klimaat in de kraamstal te optimaliseren. Een verlaging van de kraamstaltemperatuur levert een

aanzienlijke energiebesparing op (hoofdstuk 4) en verhoogt waarschijnlijk het welzijn en de voeropname van de zeug (hoofdstuk 3). Het effect op de biggen zal afhangen van de effectiviteit van de klimaatregeling (temperatuur in het biggenest, microklimaat).

Nader onderzoek dient plaats te vinden om meer kennis te vergaren met betrekking tot de temperatuursbehoefte van lacterende zeugen, Het verband tussen ruimte- en vloertemperatuur enerzijds en voeropname, huidtemperatuur en ademhalingsfrequentie anderzijds moet worden vastgesteld om een indruk te krijgen van de bovengrens van de comfortzone. Meting van de huidtemperatuur op verschillende delen van het lichaam kan informatie verschaffen over verschillen in isolatiewaarde en dus warmteverliezen tussen bijvoorbeeld rug en uier.

Technische, economische en ethologische gegevens moeten verzameld en geëvalueerd worden in relatie tot het klimaat in de kraamstal (ruimtetemperatuur, vloertemperatuur onder zeug en biggen, luchttempera-

Tabel 5: Overzicht van te nemen maatregelen om het klimaat in de kraamstal te verbeteren, alsmede consequenties voor arbeidsbehoefte, investeringskosten en energieverbruik

Table 5: Overview of possible measures to improve the climatic environment in the farrowing room, and consequences for labour requirements, investment costs and energy use

maatregel	effect op zeug	effect op biggen	arbeidsbehoefte	invest.kosten	energieverbruik
ruimtetemp. verlagen	stijging voeropname	koude-stress	geen effect	geen effect	daalt sterk
meer stro	geen effect	welzijn neemt toe	neemt toe	weinig effect	kan sterk dalen bij gelijktijdige temp.-daling
overdekt onderkomen	geen effect	beter microklimaat	neemt toe	stijgen licht	kan sterk dalen bij gelijktijdige temp.-daling
biggenlampen vervangen door vloerverwarming	geen effect	geen effect bij zelfde temperatuur	neemt licht af	nemen licht toe	neemt sterk af

tuur in het biggenest).

Het uiteindelijk doel zal moeten zijn het optimaliseren van (het verloop van) vloer- en ruimtetemperatuur in de kraamstal, voor zowel de zeug als de biggen als uit oogpunt van energieverbruik.

Voorgestelde proeven:

1 Bepaling van de bovengrens van de comfortzone voor de zeug en grenswaarde ruimtetemperatuur voor de biggen.

Lacterende zeugen met biggen kunnen gehuisvest worden in respiratiecellen gedurende bijvoorbeeld week 2 en 3 van de lactatie. In de cellen worden verschillende ruimtetemperaturen gehandhaafd (14, 17, 20 en 23°C). De temperatuur in het biggenest wordt door middel van warmtelampen en/of biggenkisten optimaal gehouden voor de biggen (28 - 26°C). De zeug en de biggen worden gewogen om het lactatie-gewichtsverloop van de zeug vast te stellen en om de groei van de biggen te bepalen. De energie- en stikstofbalans wordt in elke cel gemeten (2x 1 week), de melkproductie van elke zeug wordt gemeten (begin en einde balans) en een melkmonster wordt genomen voor het bepalen van de melksamenstelling. Ook bij begin en bij afsluiten van de balans worden alle dieren gewogen.

De totale warmteproductie wordt gemeten zodat de bovenste kritieke temperatuur van de zeugen kan worden vastgesteld.

(De onderste kritieke temperatuur ligt waarschijnlijk ver onder de 14°C). De vochtproductie in de cellen geeft het latente warmteverlies weer.

Door de biggen in een comfortabele omgeving te houden kan de variatie in warmteproductie worden toegeschreven aan de zeugen. Er zullen aannames gemaakt moeten worden om de warmteproductie van de zeug en die van de biggen te scheiden.

Gedragswaarnemingen (eventueel door middel van video-opnamen): bezoekfrequentie van de biggen naar de zeug (om een indicatie te krijgen of de ruimtetemperatuur te laag is voor de biggen), ademhalingsfrequentie zeug (als indicatie voor de bovengrens comfortzone, eventueel elektronisch te meten met hartslagmeter of

iets dergelijks), liggedrag biggen (in of buiten het nest, 'huddling'). Van de zeugen wordt de huidtemperatuur van de uier en van de rug gemeten.

2 Mogelijkheden voor energiebesparing door toepassing plaatselijke verwarming in plaats van ruimteverwarming.

Lacterende zeugen met biggen kunnen worden gehuisvest in kraamafdelingen, waar verschillende combinaties van vloer- en ruimtetemperaturen worden toegepast. Getest kan worden of vloerverwarming onder de zeug (uier!) de ruimteverwarming geheel of gedeeltelijk kan vervangen. De uier is het meest temperatuurgevoelige deel van de zeug en bovendien de plek waar de biggen regelmatig moeten komen.

De kosten voor ruimteverwarming vormen de grootste post in het energieverbruik in de zeugenhouderij. Vervanging door vloerverwarming kan een forse energiebesparing opleveren, mede doordat de warmte gebracht wordt op de plek met de grootste warmtebehoefte (bij de uier). Vloerkoeling kan worden toegepast om het effect van (te) lage temperaturen op de uiertemperatuur en -gezondheid en op het gedrag van de biggen te bestuderen. Verschillende temperatuurpatronen (dag/nacht-ritme, verloop gedurende de lactatie) kunnen in deze opstelling ook vergeleken worden.

Het energieverbruik bij elke combinatie van ruimte- en vloertemperatuur wordt bepaald. De (re)productieresultaten van zeug en biggen worden bijgehouden (gewichtverloop en spekdikte zeug, interval spenen - bronst, toomgrootte volgende pariteit, groei biggen vóór en na spenen).

3 Praktijkevaluatie.

De bovenstaande proeven zullen informatie opleveren over de ligging van de TNZ van de zeug en de specifieke behoeften van de uier. Op praktijkbedrijven (of in langlopend onderzoek in Rosmalen, Sterksel of Raalte) kan bestudeerd worden welk alternatief (combinatie van ruimtetemperatuur en vloertemperatuur) op langere termijn de beste technische en economische resultaten oplevert. De vol-

gende parameters zullen meegenomen moeten worden: energieverbruik (verwarming: ruimtelijk en plaatselijk, ventilatie), productiegegevens (voeropname zeug, gewicht en spekdikte zeug bij werpen en bij spenen, gewicht biggen bij geboorte en bij spenen) en reproductiegegevens (uitval biggen (+ oorzaken uitval), interval spenen - bronst).

5.3 Conclusies

Het terugdringen van het energieverbruik in Nederlandse kraamstallen zal vooral bereikt moeten worden door het *combineren* van verschillende energiebesparende maatregelen. De optimale combinatie van verschillende (ruimtelijke en plaatselijke) *verwarmingssystemen* zal in praktijkgericht nader onderzoek moeten worden vastgesteld. Een omschakeling van ruimtelijke naar plaatselijke verwarming biedt perspectieven uit het oogpunt van energiebesparing. Lokale verwarming dient bij voorkeur door middel van vloerverwarming te geschieden in plaats van met warmtelampen of gasstralers. Het gebruik van gesloten biggenonderkomens en/of strooisel is interessant in het kader van de terugdringing van het energiegebruik, maar de implementatie zal in belangrijke mate afhangen van de bedrijfsvoering (stalinrichting, beschikbare arbeid). De optimale verdeling van *temperatuur* in tijd (verloop over de dag, verloop tijdens lactatie) en ruimte (biggen en zeug, rug zeug en uier zeug) moet via meer fundamenteel onderzoek bepaald worden (warmteproductiemetingen, energiebalans). Het effect van hoge staltemperaturen (boven-grens comfortzone, bovenste kritieke temperatuur) op warmte-afgifteprocessen (latente warmteverliezen, hijgen zweten) bij lacterende zeugen is onvoldoende bekend. Simulatiemodellen kunnen behulpzaam zijn bij de integratie van beschikbare kennis en bij de selectie van verwarmingssystemen in diverse huisvestingsituaties.

Resumerend kunnen de volgende aanbevelingen worden gedaan, waarmee op korte termijn energie kan worden bespaard op zeugenbedrijven:

1 Het afbiggen binnen een afdeling dient zo nauwkeurig mogelijk gepland te worden.

Kleine kraamafdelingen hebben hierbij voordelen ten opzichte van grote afdelingen. Bij een erg kleine spreiding in de geboortedata binnen een afdeling kan de kraamstaltemperatuur sneller worden afgebouwd, wat een aanzienlijke energiebesparing oplevert.

- 2 De ruimtetemperatuur mag enkele graden lager worden ingesteld indien iets meer plaatselijke verwarming wordt toegepast: zo wordt efficiënter omgegaan met energie, aangezien de warmte gebracht wordt op de plaats waar het nodig is (bij de biggen in plaats van bij de zeug, bij de dieren in plaats van bij het plafond).
- 3 Voor lokale verwarming dient vooral vloerverwarming toegepast te worden (dit gebeurt al op veel bedrijven).
- 4 Het toepassen van stro(oisel) of gesloten biggenonderkomens conserveert warmte, waardoor minder energie gebruikt hoeft te worden voor verwarming.
- 5 Een thermostaatregeling voor warmtelampen maakt het mogelijk om de warmteproductie nauwkeurig af te stellen op de warmtevraag. Dit is energiezuiniger dan het aanpassen van de hoogte van de lampen bij afnemende warmtebehoefte.

LITERATUUR REFERENCES

- Baltussen, W.H.M. 1988. *Verschillen tussen praktijkbedrijven in voeding van zeugen en biggen*. Proefverslag nummer P 1.28. Proefstation voor de Varkenshouderij/Landbouw Economisch Instituut.
- Barber, E.M., Classen, H.L., Thacker, P.A. 1989. *Energy use in the production and housing of poultry and swine - an overview*. Can. J. Anim. Sci. 69:7-21.
- Bober, M.A., Becker, B.A., Valtorta, S.E., Katt, P., Mertsching, H., Johnson, H.D., Shanklin, M.D. 1980. *The relationship of growth hormone and thyroxine to milk production under heat in Holstein cows*. J. Anim. Sci. 51 (suppl. 1):261-268.
- Bruce, J.M., Clark, J.J. 1979. *Models of heat production and critical temperature for growing pigs*. Anim. Prod. 28:353-369.
- Curtis, S.E. 1970. *Environmental-thermoregulatory interactions and neonatal piglet survival*. J. Anim. Sci. 31:576-587.
- Ewbank, R. 1966. *A possible correlation, in one herd, between certain aspects of the lying behaviour of tied-up dairy cows and the distribution of subclinical mastitis among the quarters of their udders*. Vet. Rec. 78:299-303.
- Ewbank, R. 1968. *An experimental demonstration of the effect of surface cooling upon the health of the bovine mammary gland*. Vet. Rec. 83:685-686.
- GD/VPB-S/DLV 1992. *Het Varken en Zijn Sta/ Anno 1992*. Stichting Gezondheidsdienst voor Dieren in Zuid-Nederland, Varkensproefbedrijf 'Zuid- en West Nederland', Dienst Landbouwvoorlichting Team Varkenshouderij Boxtel.
- Habeeb, A. Alnaimy M., Marai, I. Fayaz M., Kamal, T.H. 1992. *Heat Stress*. Hoofdstuk 1-2 in: Farm Animals and the Environment. Eds. Phillips & Piggins, C.A.B. International, University Press, Cambridge, p.27-47.
- Holmes, C.W., Close, W.H. 1985. *The influence of climatic variables on energy metabolism and associated aspects of productivity in the pig*. In: Recent Developments in Pig Nutrition 1985. Eds. Cole & Haresign. Butterworths, Londen, UK. p.18-40.
- IKC-Veehouderij (Afdeling Varkenshouderij) 1993. *Handboek voor de Varkenshouderij*. 6^e herziene druk, publikatie nr 37, Rosmalen.
- IKC-Veehouderij (Afdeling Veehouderij en Milieu) 1993. *Energie in de Intensieve Veehouderij* (concept-rapport).
- Johnston, L.J., Jacobson, L.D., Janni, K.A. 1993. *Effect of hovers for baby pigs on energy usage and animal performance during lactation*. [in voorbereiding].
- Kuhn, J. 1992. *Klimatisierung von Abferkelställen*. Deutsche Geflügelwirtschaft und Schweineproduktion 28:830,832-835.
- Lynch, P.B. 1989. *Voluntary food intake of sows and gilts*. In: The Voluntary Food Intake of Pigs. Occasional Publication No 13, Br. Soc. Anim. Prod. 1989. Eds. Forbes, Varley & Lawrence. p. 71-77.
- Maust, L.E., McDowell, R.E., Hooven, N.W. 1972. *Effect of summer weather on performance of Holstein cows in three stages of lactation*. J. Dairy Sci. 55:1133-...
- Mount, L.E. 1974. *The concept of thermoneutrality*. In: Heat Loss from Animals and Man. Eds. Monteith & Mount. Butterworths, Londen, Engeland. pp 425-439.
- Mount, L.E. 1979. *Adaptation to Thermal Environment*. Man and his Productive Animals. Edward Arnold Publishers Ltd., Londen, UK. 333 p.
- Mullan, B.P., Close, W.H., Cole, D.J.A. 1989. *Predicting nutrient responses of the lactating sow*. In: Recent Advances in Animal Nutrition 1989. Eds. Haresign & Cole. Butterworths, Londen, Engeland. pp 229-243.

- Nienaber, J.A., Shanklin, M.D., Hahn, G.L., Manak, R.C. 1985. *Performance of neonatal and newly-weaned piglets as affected by temperature and diet*. Transactions of the ASAE 28(5): 1626-1633.
- Peerlings, J., Van 't Klooster, K. 1988. *Nestverwarmingssystemen voor zogende biggen: gebruikservaringen en energieverbruik*. Proefverslag nummer P 1.26. Varkensproefbedrijf "Zuid- en West-Nederland".
- Siegl, O., Goldmann, S., Barth, D. 1989. *Ferkelliegeplatzheizung*. Fortschrittsberichte für die Landwirtschaft und Nahrungsgüterwirtschaft 27(7): 1-48.
- Sterrenburg, P., Van Ouwerkerk, E.N.J. 1986a. *Rekenmodel voor de bepaling van de thermische behaaglijkheidszone van varkens (BEZOVA)*. IMAG-rapport 78, Wageningen.
- Sterrenburg, P., Van Ouwerkerk, E.N.J. 1986b. *Tabellen van warmteproductie en temperatuurseisen van varkens*. IMAG-rapport 79, Wageningen.
- Thus, A. 1993. *Bedrijven met varkens 1992*. Info-bulletin Varkenshouderij nr 4, augustus 1993. IKC-Varkenshouderij, Rosmalen. pp 13-22.
- Van 't Klooster, K., Duives-Cahuzak, S. 1991. *Klimaat in Varkensstallen*. Misset Landbouw, Doetinchem.
- Verstegen, M.W.A., Schrama, J.W. 1992. *Climatic conditions, metabolic rate and health*. Proceedings of the 8th International Conference on Production Diseases in Farm Animals. 24-27 augustus 1992. Bern, Zwitserland.
- Watt, D.L., DeShazer, J.A., Ewan, R.C., Harold, R.L., Mahan, D.C., Schwab, G.D. 1987. *NCCIS WINE: Housing, nutrition, and growth simulation mode*. Appl. Agric. Res. 2(4):218-223.
- Weber, R. 1987. *Wichtige Ergebnisse einer Untersuchung verschiedener Abferkelbuchten*. Tänikon, FAT-Bericht.
- Welch, A.R., Baxter, M.R. 1986. *Responses of newborn piglets to thermal and tactile properties of their environment*. Appl. Anim. Behav. Sci. 15:203-215.
- Whittemore, C.T., Morgan, C.A. 1990. *Model components for the determination of energy and protein requirements for breeding sows: a review*. Livest. Prod. Sci. 26: 1-37.

REEDS EERDER VERSCHENEN PROEFVERSLAGEN PUBLISHED RESEARCH REPORTS

Proefverslag P 1.88

"Analyse van het interval spenen - eerste inseminatie"

Proefverslag P 1.89

"KASVA Knelpunten analyse systeem varkenshouderij"

Proefverslag P 1.90

"Het effect van microbieel fytase in het voer op de opfokresultaten van gespeende biggen"

Proefverslag P 1.91

"Onderzoek aan een diepstrooiselsysteem op praktijkbedrijven"

Proefverslag P 1.92

"Rioleringssysteem voor de afvoer van mest"

Proefverslag P 1.93

"Ervaringen met biowassers op vleesvarkensbedrijven in PROPRO"

Proefverslag P 1.94

"Mestpannen in kraamstallen"

Proefverslag P 1.95

"Reductie van ammoniakemissie uit varkensstallen door mestspoelen met beluchte spoelvloeistof"

Proefverslag P 1.96

"Arbeid en arbeidsomstandigheden in diepstrooiselsystemen voor vleesvarkens"

Proefverslag P 1.97

"Wel of niet bedrijfsmatig bijvoeren van zogende biggen met vast voer"

Proefverslag P 1.98

"Extra waterverstrekking aan lacterende zeugen"

Proefverslag P 1.99

"Ervaringen met biobedden op vleesvarkensbedrijven in PROPRO"

Proefverslag P 1.100

"Poliklinische kraamafdelingen in combinatie met zoogafdelingen voor zeugen"

Proefverslag P 1.101

"Bedrijfsinpasbaarheid van vrijdragende afdekkingen op mestsilos; een enquête onder veehouders"

Proefverslag P 1.102

"Ervaringen met diepstrooisel op een varkensbedrijf in PROPRO"

Proefverslag P 1.103

"De invloed van inweekmethode, waterdruk, waterdebiet en nozzle op het waterverbruik en de werktijd voor het reinigen van varkensstallen"

Proefverslag P 1,104

"Ultrasonische meting van spekdikte bij groeiende vleesvarkens en latere classificatieresultaten"

Exemplaren van proefverslagen kunnen worden verkregen door f 18,50 per verslag 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 1-verslag (dit is inclusief verzendkosten) én f 15,- overschrijvingskosten per bestelling
U kunt zich ook abonneren op het periodiek PRAKTIJKONDERZOEK VARKENSHOUDERIJ. U ontvangt dan 6 keer per jaar een periodiek met daarin de resultaten van het onderzoek. Bovendien ontvangt u het jaarverslag gratis. U kunt zich hierop abonneren door f 45,- over te maken op Postbanknummer 51.73.462 ten name van het Proefstation voor de Varkenshouderij, Lunerkampweg 7, 5245 NB ROSMALEN, onder vermelding van POV, Nieuw abonnement. Als u in het buitenland woonachtig bent, betaalt u f 75,- voor een abonnement.