

# Wageningen UR Livestock Research

*Partner in livestock innovations*



Rapport 579

Effect van omgevingstemperatuur, kwaliteit  
verenkled en huisvestingssysteem op  
energieverbruik en dierprestaties bij  
leghennen

Maart 2012



**LIVESTOCK RESEARCH**  
**WAGENINGEN UR**

## Colofon

### Uitgever

Wageningen UR Livestock Research  
Postbus 65, 8200 AB Lelystad  
Telefoon 0320 - 238238  
Fax 0320 - 238050  
E-mail [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl)  
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

### Redactie

Communication Services

### Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2012

Overname van de inhoud is toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.

### Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research en Central Veterinary Institute, beiden onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek vormen samen met het Departement Dierwetenschappen van Wageningen University de Animal Sciences Group van Wageningen UR (University & Research centre).

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

### Abstract

Despite rather extreme differences between treatments, rate of lay, egg weight and egg mass were not affected, indicating the adaptive capacity of laying hens to a broad range of environmental conditions.

### Keywords

Energy partitioning, housing system, laying hen, plumage condition, temperature.

### Referaat

ISSN 1570 - 8616

### Auteurs

M.M. van Krimpen  
G.P. Binnendijk  
I. van den Anker  
M.J.W. Heetkamp  
R.P. Kwakkel  
H. van den Brand

### Titel

Effect van omgevingstemperatuur, kwaliteit verenkleed en huisvestingssysteem op energieverbruik en dierprestaties bij leghennen

Rapport 579

### Samenvatting

Ondanks de behoorlijk extreme verschillen tussen behandelingen werden legpercentage, eigewicht en eimassa hierdoor niet beïnvloed. Hieruit blijkt de grote aanpassingscapaciteit van leghennen onder een brede range van omgevingscondities.

### Trefwoorden

Energieverbruik, huisvestingssysteem, kwaliteit verenkleed, leghen, temperatuur.



LIVESTOCK RESEARCH  
WAGENINGEN UR

Rapport 579

Effect van omgevingstemperatuur, kwaliteit verenkleed en huisvestingsstelsel op energieverbruik en dierprestaties bij leghennen

Effect of ambient temperature, plumage condition, and housing system on energy partitioning and performance in laying hens

M.M. van Krimpen  
G.P. Binnendijk  
I. van den Anker  
M.J.W. Heetkamp  
R.P. Kwakkel  
H. van den Brand

Maart 2012



PRODUCTSCHAP DIERVOEDER

***Dit onderzoek is uitgevoerd met subsidie van het Productschap Pluimvee en Eieren (PPE) en van het Productschap Diervoeder.***

## Samenvatting

Als gevolg van het Europese verbod op conventionele kooihuisvesting en als gevolg van de wens van de consument is de legsector volledig omgeschakeld naar alternatieve productiesystemen, zoals scharrel- en vrije uitloopsystemen. Daarnaast staat de Nederlandse overheid het behandelen van snavels nog maar tijdelijk toe. Deze wijzigingen hebben invloed op de wijze waarop leghennen gehouden worden, en als gevolg daarvan ook op de nutriëntenbehoefte van leghennen. De energie- en eiwitbehoefte zal veranderen als gevolg van de veranderde dieractiviteit in scharrelsystemen, meer variabele en in de meeste gevallen lagere omgevingstemperatuur en verminderde conditie van het verenkleed conditie bij koppels met onbehandelde snavels. Dit betekent dat nieuwe formules moeten worden ontwikkeld om de voeropname van leghennen in alternatieve productiesystemen te kunnen voorspellen. Het doel van deze studie was om de effecten van omgevingstemperatuur (T), conditie verenkleed (FC) en huisvestingssysteem (HS) op het energieverbruik en de legprestaties van leghennen vast te stellen, en op basis van de resultaten van dit experiment een formule te ontwikkelen die de voeropname van leghennen in alternatieve systemen goed kan voorspellen.

Dit experiment is uitgevoerd volgens een 3 x 2 x 2 factorieel ontwerp om de effecten te onderzoeken van de factoren omgevingstemperatuur (11°C, 16°C, 21°C), conditie verenkleed (100% vs. 50% veerbedekking) en huisvestingssysteem (kooi- vs. scharrelhuisvesting) op energieverbruik en legprestaties van leghennen. Op basis van de resultaten is een regressieformule afgeleid, waarmee de energieopname van leghennen voorspeld wordt. In totaal werden in deze studie 420 jonge leghennen, verdeeld over zes batches van elk 70 hennen, opgezet. Na een gewenningsperiode werden de hennen toegewezen aan twee respiratiekamers. Per batch wisselde het huisvestingssysteem. De ene keer waren de kamers toegerust met kooihuisvesting en de ander keer waren ze ingericht als scharrelstal. Binnen een batch werden in de ene kamer hennen geplaatst met een volledig intact verenkleed (100% FC = veerbedekking) en in de andere kamer hennen, waarbij de helft van de veren was verwijderd (50% FC). Verdeeld over drie 2-weekse perioden, werden de hennen van een batch blootgesteld aan de verschillende omgevingstemperaturen. In totaal zijn in dit experiment 36 energiebalansen verkregen (6 batches x 2 respiratiekamers x 3 temperatuurperioden). De warmteproductie (HP) was gebaseerd op de methode van indirecte calorimetrie.

De omzetting van bruto energie naar metaboliseerbare energie verliep bij 11°C en 16°C efficiënter dan bij 21°C. De herkende ME-waarde van het voer bedroeg 11,74, 12,29 en 12,38 MJ/kg bij respectievelijk 21, 16 en 11°C. De ME-opname steeg met 1% ( $P = 0.054$ ) voor elke graad vermindering van T.  $HP_{tot}$  werd niet beïnvloed bij hennen met een intact verenkleed, terwijl  $HP_{tot}$  bij hennen met 50% FC lineair toenam van 637,6 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup> bij 21°C tot 691,0 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup> bij 11°C. Bij 21°C werd HP niet beïnvloed door HS (gemiddeld 625,3 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup>), terwijl HP bij 16°C en 11°C bij de scharrelhennen respectievelijk 36,4 en 277 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup> hoger was dan bij de hennen in de kooien. De hoeveelheid NE gebruikt voor productie was 60,7 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup> hoger bij hennen gehuisvest in kooien in vergelijking tot hennen gehuisvest in het scharrelstelsel (236,2 vs. 296,9 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup>). Leghennen in kooien besteden 72,3 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup> aan NE voor aanzet van lichaamsvet, terwijl de scharrelhennen 21,2 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup> aan NE vrijmaken uit hun lichaamsvetreserves. De experimentele factoren hadden geen invloed op de totale NE afzetting in het ei, terwijl ook de hoeveelheid NE voor vet- of eiwitdepositie in het ei niet verschilde. De ME-opname wordt voorspeld met de volgende vergelijking, waarmee 75% van de variantie verklaard wordt, terwijl 6,9% van ME opname niet verklaard wordt:

$$\text{ME-opname (kJ/d)} = 586 \text{ Gewicht}^{0.75}(\text{kg}) - 7,94 T(^{\circ}\text{C}) + 26,84 \text{ Groei (g/d)} + 11,36 \text{ Eimassa (g/d)} - 0,993 \text{ FC (\% veerbedekking; 100\% = volledig intact verenkleed)} - 36,2 \text{ HS (HS 0 = kooien, HS 1 = scharrel)}.$$

Uitgaande van een voer met een energiegehalte van 11,8 MJ/kg (2825 kcal/kg), heeft dit model de volgende betekenis voor de praktijk:

- Elke 100 gram stijging in hengewicht zorgt voor een hogere onderhoudsbehoefte die overeenkomt met 3,25 g voer per dag;
- Elke graad daling in omgevingstemperatuur vraagt 0,7 g extra voer per dag;
- Elke gram stijging in dagelijkse groei vraagt 2,3 g extra voer per dag;
- Elke gram stijging in eimassa vraagt 1 g extra voer per dag;
- Elke 10% afname in veerbedekking kost 0,8 g extra voer per dag;
- Los van alle andere kenmerken ligt het voerverbruik in scharrelsystemen 3 g/d lager dan bij kooisystemen. Dit is mogelijk het gevolg van een ander gedragspatroon en minder stress bij de scharrelhennen.

Deze resultaten wijzen op het belang van een goede conditie van het verenkleed, vooral in koude omstandigheden, bij het voorkomen van warmteverlies. Ondanks de behoorlijk extreme verschillen tussen behandelingen werden leggerpercentage, eigewicht en eimassa niet beïnvloed, waaruit de grote aanpassingscapaciteit blijkt van leghennen onder een brede range van omgevingscondities.

## Summary

As a consequence of the European ban on conventional cage housing and due to wishes of consumers, the housing system in laying husbandry is fully switched to alternative housing systems, like free range and outdoor systems. Besides, the Dutch government do allow beak trimming only for a limited period. These changes affect the housing conditions of laying hens, and as a consequence, the energy and protein requirements, because of changed bird activities in free range systems, more changeable and in most cases also reduced ambient temperatures, and reduced plumage conditions of flocks with intact beaks. This stresses the need of developing new models for predicting feed intake of laying hens in alternative housing systems. The aim of this study was to determine the effects of ambient temperature (T), feather condition (FC), and housing system (HS) on energy use and performance of laying hens. Based on these results, a model was developed to predict feed intake of layers in alternative systems.

According to a 3\*2\*2 factorial arrangement, an experiment was conducted to investigate the effects of ambient temperature (11°C, 16°C, 21°C), feather condition (100% vs. 50% feather cover) and housing system (battery cage vs. floor housing) on energy partitioning and performance of laying hens, whereas an equation to predict ME intake, based on the results of this experiment, was developed. Divided over six batches of 70 hens each, a total of 420 laying hens at early lay were used in this study. After an adaptation period, hens were subdivided over two respiration chambers, equipped as a cage or a free range system (HS). FC treatments were allotted to the two chambers. Divided over three 2-wk periods, hens within a batch were exposed to the different ambient temperatures, finally resulting in 36 balance periods. Heat production (HP) was calculated by use of indirect calorimetry. The conversion from GE to ME is more efficient under conditions of reduced T. The recalculated ME content of the diet amounted 11.74, 12.29 and 12.38 MJ/kg at 21, 16 and 11°C, respectively. ME intake tended ( $P = 0.054$ ) to increase by 1% for each degree reduction in T. In hens with an intact plumage,  $HP_{tot}$  was not affected by T, whereas  $HP_{tot}$  linearly increased in hens with a 50% FC, from 637.6 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup> at 21°C to 691.0 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup> at 11°C. At 21°C,  $HP_{tot}$  was not affected by HS (on average 625.3 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup>), whereas  $HP_{tot}$  at 16°C and 11°C in the free range system was 36.4 and 27.7 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup> higher, respectively, than in the cages. NE for production was 60.7 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup> higher in hens housed in cages compared to hens housed in the free range system (236.2 vs. 296.9 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup>). Hens housed in cages spent 72.3 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup> on NE for body fat deposition, whereas hens housed in the free range system released 21.2 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup> from their body fat reserves. The experimental factors did not affect total NE deposition in the egg, nor the NE for fat or protein deposition in the egg. ME intake was predicted by the following equation, accounting for 75% of variance, while 6.9% of ME intake remained unexplained:

$$ME \text{ (kJ/d)} = 586 \text{ Body weight}^{0.75} \text{ (kg)} - 7.94 T \text{ (}^\circ\text{C)} + 26.84 \text{ Daily gain (g/d)} + 11.36 \text{ Egg mass (g/d)} - 0.993 \text{ FC (\%)} - 36.2 \text{ HS (HS 0 = cages, HS 1 = free range)}.$$

Assuming a dietary energy content of 11.8 MJ/kg (2825 kcal/kg), this model has the following implications for practice:

- Each 100 g increase in hen weight results in a higher energy requirement for maintenance, which is equivalent with 3.25 g feed/hen/d;
- Each degree reduction in ambient temperature needs 0.7 g additional feed/hen/d;
- Each g increase in daily gain needs 2.3 g additional feed/hen/d;
- Each g increase in egg mass needs 1 g additional feed/hen/d;
- Each 10% reduction in feather cover needs 0.8 g additional feed/hen/d;
- Independent of all previous parameters, feed intake level in free range systems is reduced by 3 g/hen/d compared to cage systems. Probably, this is the consequence of changes in behavioural patterns and reduced stress levels in free range hens.

These results indicate the importance of maintaining FC for laying hens, especially in cold conditions, for preventing heat loss. Despite rather extreme differences between treatments, rate of lay, egg weight and egg mass were not affected, indicating the adaptive capacity of laying hens to a broad range of environmental conditions.





# Inhoudsopgave

## Samenvatting

## Summary

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Materiaal en methode</b> .....	<b>3</b>
2.1	Proefopzet .....	3
2.2	Huisvesting, hennen en management tijdens de voorperiode (17 – 21 weken leeftijd) .....	3
2.3	Huisvesting, hennen en management tijdens de hoofdperiode (22 – 28 weken leeftijd) .....	5
2.4	Statistische analyses.....	6
<b>3</b>	<b>Resultaten</b> .....	<b>7</b>
3.1	Effecten van de proeffactoren op de dierprestaties .....	7
3.2	Effecten van de proeffactoren op het bruto energie (BE)- en ME-verbruik .....	7
3.3	Effect van de proeffactoren op NE verbruik .....	7
<b>4</b>	<b>Discussie</b> .....	<b>12</b>
4.1	Effect van de omgevingstemperatuur .....	12
4.2	Effect van niveau van veerbedekking .....	13
4.3	Effect van huisvestingssysteem .....	13
4.4	Voorspelling van de energieopname .....	14
<b>5</b>	<b>Conclusies</b> .....	<b>16</b>
	<b>Literatuur</b> .....	<b>17</b>



## 1 Inleiding

Een goede voorspelling van de voeropname van leghennen is belangrijk voor een juiste voerformulering en voor het nemen van economische beslissingen (Sakomura, 2004). Omgevingsfactoren, zoals temperatuur, seizoen en huisvestingssysteem kunnen invloed hebben op voeropname van leghennen (Chwalibog en Baldwin, 1995; Roth en Bohmer, 2008). De huidige formules om de voeropname van leghennen te voorspellen zijn grotendeels gebaseerd op leghennen gehouden in kooien (NRC, 1994; Herremans et al., 1989). Echter, in Europa is conventionele kooihuisvesting vanaf 2012 verboden (EU, 1999). Dit betekent dat er alternatieve huisvestingssystemen, zoals scharrelsystemen en vrije uitloop systemen toegepast dienen te worden. Tegelijkertijd zal het toepassen van snavelbehandelingen in de komende jaren beperkt of verboden worden. Beide wijzigingen in de regelgeving hebben invloed op de wijze waarop leghennen gehouden worden, en als gevolg daarvan ook op de nutriëntenbehoefte van leghennen. De energie- en eiwitbehoefte zal veranderen als gevolg van de hogere dieractiviteit in scharrelsystemen, een meer variabele en in de meeste gevallen lagere omgevingstemperatuur en verminderde conditie van het verenkleed bij koppels met onbehandelde snavels. Dit betekent dat nieuwe formules moeten worden ontwikkeld om de voeropname van leghennen te voorspellen die in alternatieve productiesystemen gehouden worden. Het doel van deze studie was om de effecten van omgevingstemperatuur (T), conditie verenkleed (FC) en huisvestingssysteem (HS) op het energieverbruik en de legprestaties van leghennen vast te stellen, en op basis van de resultaten van dit experiment een formule te ontwikkelen die de voeropname van leghennen in alternatieve systemen goed kan voorspellen.

Vanaf 2012 is het gebruik van conventionele kooihuisvesting in de EU verboden (EG, 1999). Als gevolg hiervan worden leghennen gehuisvest in niet-kooisystemen voorzien van legnesten, zitstokken en een scharrel- en foerageergebied (Sherwin et al., 2010). Deze verordening stimuleert de ontwikkeling van alternatieve huisvestingssystemen, zoals scharrelsystemen, al dan niet met vrije uitloop (Van den Brand et al., 2004). Toegang tot een uitloop en scharrelgedrag kunnen de fysieke activiteit van de hen stimuleren, wat resulteert in een verhoogde onderhoudsbehoefte (Ketelaars et al., 1985; Luiting, 1990). Bovendien zorgen de klimaatomstandigheden in Noordwest Europa ervoor dat hennen in de uitloop blootgesteld worden aan meer variabele – en vooral in de herfst en winter – lagere omgevingstemperaturen, in vergelijking met hennen zonder toegang tot een buitenuitloop. De temperatuur is de meest bepalende omgevingsfactor voor de productie van pluimvee (Al-Saffar en Rose, 2002). Aangenomen wordt dat een omgevingstemperatuur van 21 °C voor kooihennen optimaal is (Charles, 1986). Vele auteurs hebben eerder aangetoond dat een daling van de omgevingstemperatuur resulteert in een toename van de onderhoudsbehoefte van leghennen (Romijn en Lokhorst, 1966; Emmans, 1974; Peguri en Coon, 1993; Al-Saffar en Rose, 2002), wat suggereert dat hennen in alternatieve systemen een hogere voerbehoefte hebben. Daarnaast is de groeps grootte bij alternatieve systemen in het algemeen groter in vergelijking met conventionele kooien. Onderzoek heeft aangetoond dat een toename van de groeps grootte resulteert in een verhoogd risico op verenpikgedrag, wat meer verenschade tot gevolg kan hebben (Duncan en Hughes, 1973; Bilcik en Keeling, 1999; Savory et al., 1999.) Een verminderde conditie van het verenkleed zorgt eveneens voor een hogere onderhoudsbehoefte (Herremans et al., 1989; Peguri en Coon, 1993). De huidige formules voor het schatten van de energiebehoefte (NRC, 1994; Sakomura, 2004) zijn veelal gebaseerd op de behoefte van kooihennen. Hierin wordt geen rekening gehouden met zowel het activiteitsniveau van de hen in relatie tot het huisvestingssysteem als de kwaliteit van het verenkleed. Het is dus de vraag of deze formules de ME-opname van leghennen in alternatieve systemen correct voorspellen. Volgens Herremans et al. (1989) schieten klassieke modellen, die uitsluitend gebaseerd zijn op gewicht, gewichtsverandering en eiproductie, tekort bij het voorspellen van de ME-opname. Deze auteurs presenteerden een alternatief model, waarin ook de warmteproductie (HP), die gerelateerd is aan de conditie van verenkleed conditie, als verklarende variabele is opgenomen. HP is een belangrijke parameter, omdat het 60% van de bruto-energie-opname uitmaakt (Luiting, 1990). Omdat HP alleen direct kan worden bepaald in respiratie kamers, ontwikkelden Herremans et al. (1989) een formule die HP kan voorspellen onder praktijkomstandigheden. Deze formule is gebaseerd op de mate van kaalheid (% van het oppervlak) en de omgevingstemperatuur (°C). Hoewel in verscheidene studies de effecten van huisvestingssysteem (Ketelaars et al., 1985), omgevingstemperatuur en verenkleed conditie (Richards, 1977; Herremans et al., 1989; Peguri en Coon, 1993) op energieverbruik zijn onderzocht, is de interactie tussen de omgevingstemperatuur, conditie van het verenkleed en huisvestingssysteem tot nu toe nooit onderzocht. Het doel van de huidige studie was het vaststellen van de interactie-effecten van omgevingstemperatuur, conditie

verenkleed en huisvestingssysteem op het energieverbruik en de legprestaties van leghennen, en een model te ontwikkelen waarmee op basis van de resultaten van dit experiment de ME-opname van leghennen in alternatieve systemen voorspeld kan worden.

## 2 Materiaal en methode

### 2.1 Proefopzet

In dit experiment zijn de effecten van omgevingstemperatuur, conditie verenkleed en huisvestingssysteem vastgesteld met behulp van een 3 x 2 x 2 factorieel ontwerp met de volgende factoren: temperatuur (T): gangbaar (21°C), gemiddeld (16°C) en laag (11°C); verenkleed (FC): 100% versus 50% verenbedekking; en huisvestingssysteem (HS): scharrel vs. kooihuisvesting. Deze huisvestingssystemen waren gekozen om een contrast in een laag (kooi) en hoog (scharrel) niveau van fysieke activiteit realiseren. Het huisvestingssysteem varieerde per batch nummer. Binnen een batch waren de twee niveaus van FC verloot over de twee respiratiekamers, terwijl de verschillende temperatuurniveaus werden verloot over de perioden binnen een batch. In totaal bestond dit experiment dus uit 12 behandelingen met 3 herhalingen per behandeling (36 waarnemingen: 6 batches x 2 respiratiekamers x 3 periodes/kamer). Voordat de dieren in de respiratiekamers gehuisvest werden was er een gewenningsperiode van 4 weken, waarin de dieren zich in een zelfde soort huisvesting konden aanpassen aan de omgeving. Dit experiment is goedgekeurd door de dierethische commissie (DEC) van Wageningen UR Livestock Research.

### 2.2 Huisvesting, hennen en management tijdens de voorperiode (17 – 21 weken leeftijd)

In totaal werden 540 17-weekse H&N Brown Nick hennen, verdeeld over 6 batches van elk 90 hennen, aangevoerd naar het proefbedrijf De Haar in Wageningen. De hennen waren afkomstig van moederdieren in het leeftijdstraject van 35-50 weken. Binnen een batch waren alle hennen afkomstig van dezelfde vermeerderingskoppel, maar de herkomst van de hennen verschilde tussen de batches. Tijdens de opfokperiode doorliepen alle hennen het gangbare vaccinatieprogramma. De hennen kregen een uniek vleugelnummer voor individuele identificatie. Vanaf 17 weken leeftijd kregen de hennen een standaard legvoer in meelvorm (11,8 MJ/kg ME, 6,5 g/kg verteerbaar lysine). De grondstoffsamenstelling en de berekende nutriëntengehalten van het voer zijn weergegeven in tabel 1 en 2. Het voer werd in één keer geproduceerd door RDS (Wijk bij Duurstede, Nederland). Voer en water werden onbeperkt verstrekt. Tijdens de voorperiode verbleven de hennen in een klimaat gecontroleerde stal op de experimentele faciliteit van Wageningen Universiteit tot een leeftijd van 21 weken. In deze periode konden ze zich aanpassen aan hun nieuwe omgeving vóór het begin van de werkelijke studie. Het lichtschema werd geleidelijk uitgebreid met één uur per week van 12 L : 12D op 17 weken leeftijd naar 16 L : 8D op 21 weken van leeftijd. De lichtintensiteit was 20 lux. Aan het einde van de voorperiode werd bij de helft van de beschikbare hennen 50% van de veren verwijderd. Hierbij werden alle veren aan de rechterkant van een denkbeeldige middellijn over de rug van de hennen, met uitzondering van de nek, hoofd en de donsveren rond de cloaca, handmatig zo kort mogelijk afgeknipt met behulp van een tapijtschaar. Ter compensatie van de gebieden waar geen veren werden geknipt, werd ook een deel van de veren op de linkerkant van de rug van de hennen kaal geknipt, zodat er in totaal toch sprake was van 50% minder verenkleedbedekking. Veren rond de cloaca werden niet weggeknipt, om cloacapikken te voorkomen. De kooihennen (afmetingen 75 x 60 x 50 cm; 6 hennen/kooi; 750 cm<sup>2</sup> /hen) werden verondersteld een lager activiteitsniveau te hebben dan de scharrelhennen. De scharrelhennen werden gehuisvest in een grondhok (6 m<sup>2</sup>, waarvan ca. 0,5 m<sup>2</sup> voor een voerton), met een dichtheid van ca. 9 hennen/m<sup>2</sup>. Het grondhok was uitgerust met 10 drinknippels, een voerton en twee legnesten. De activiteit van de scharrelhennen werd gestimuleerd door de aanwezigheid van zitstokken en strooisel (zaagsel).

**Tabel 1** Grondstoffensamenstelling van het voer (g/kg product)

<i>Ingrediënten</i>	<i>Gehalte (g/kg)</i>
Maïs	300,0
Tarwe	294,8
Sojaschroot	169,2
Zonnebloemzaadschroot	35,4
Gerst	25,0
Kalksteentjes	72,1
Maïsglutenvoer	10,0
Sojaolie	34,5
Krijt	20,0
Raapzaadschilfers	10,0
Luzerne	10,0
Monocalciumfosfaat	7,9
Premix <sup>1</sup>	5,0
Zout	2,2
Natriumbicarbonaat	1,9
DL-Methionine	1,4
L-Lysine	0,6

<sup>1</sup>Verstrekt de volgende nutriënten per kg voer: vitamine A 12.000 IU; vitamine D3 2.400 IU; vitamine E 40 mg; vitamine B1 4,8 mg; vitamine B2 12 mg; d-panthotheenzuur 16 mg; niacinamide, 48 mg; vitamine B6 5,6 mg; foliumzuur 1,8 mg; vitamine B12 25 µg; vitamine C 100 mg; biotine 0.1 mg; vitamine K3 4,8 mg; choline Cholinechloride 260 mg; koper 8 mg (als CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O); ijzer 65 mg (als FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O); mangaan 65 mg (als MnO<sub>2</sub>); zink 50 mg (als ZnSO<sub>4</sub>); kobalt 0,4 mg (als CoSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O); jodium 1 mg (als KI); selenium 0.4 mg (als Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>.5H<sub>2</sub>O).

**Tabel 2** Berekende nutriëntengehalten van het voer (g/kg op productbasis)

<i>Nutriënt</i>	<i>Gehalte</i>
Droge stof	889,2
As	129,7
Ruw eiwit	157,9
Ruw vet	55,0
Ruwe celstof	35,0
Zetmeel	386,2
Suikers <sup>1</sup>	31,0
AME <sub>n</sub> (MJ/kg)	11,80
LYS	7,72
Verteerbaar LYS	6,50
Verteerbaar MET + CYS	5,80
Verteerbaar THR	4,59
Verteerbaar TRP	1,55
C18:2	26,6
C18:3	3,1
Opneembaar Fosfor	2,80
NSP	152,6
NDF	103,4
ADF	42,2
ADL	7,6
Ca	38,0
P	5,3
Na	1,5
Cl	2,0

<sup>1</sup>Mono- en disacchariden als glucose eenheden.

### 2.3 Huisvesting, hennen en management tijdens de hoofdperiode (22 – 28 weken leeftijd)

Op een leeftijd van 22 weken werden 70 gezonde hennen uit de aanwezige 90 hennen geselecteerd en geplaatst in een van de twee identieke klimaatrespiratiekamers (Verstegen et al., 1987). Het totale gewicht van de dieren per kamer werd gestandaardiseerd door het verminderen van de variatie in het gemiddelde lichaamsgewicht (BW) door het verwijderen van de lichtste en de zwaarste hennen. De batches werden afwisselend toegewezen aan kooi huisvesting of scharrelhuisvesting. Elke periode van 6 weken was onderverdeeld in drie periodes van 2 weken. In elke periode werd een van de drie niveaus van omgevingstemperatuur toegepast. De eerste week van elke periode werd gebruikt voor het laten gewennen van de hennen aan de nieuwe omgevingstemperatuur. Tijdens de tweede week van elke periode werden de metingen uitgevoerd.

De respiratiekamers hadden afmetingen van 3,7 x 1,47 m (5,4 m<sup>2</sup>). In elke kamer werden 35 hennen geplaatst. In geval van kooihuisvesting werden 7 kooien (5 hennen/kooi), die identiek waren aan degene die gebruikt werden in de voorperiode, in de kamer geplaatst. Op de bodem van elke kooi werd een 75 cm lange en 5 cm hoge zitstok bevestigd. Elke kooi bevatte twee drinknippels. De kooien waren 75 cm vanaf de vloer geplaatst. De kooien waren afgedekt met een net, zodat het Doppler systeem, dat de fysieke activiteit registreert, goed kon functioneren. Wanneer de hokken waren uitgerust als scharrelhuisvesting was de vloer bedekt met een 2 cm dikke laag zaagsel. In de hokken was een voerton geplaatst met een oppervlak van 0,4 m<sup>2</sup>. Er werden twee legnesten met platte daken gebruikt. De hennen konden hier bovenop zitten, zodat geen grondoppervlak verloren ging door het plaatsen van de legnesten. De ruimte onder de legnesten was afgesloten. In totaal was er 6,7 meter zitstoklengte (0,19 m/kip) aanwezig. De kamers hadden elk 10 drinknippels.

Verschillen in omgevingstemperatuur werden gerealiseerd bij een constant niveau van relatieve vochtigheid (ca. 70%) en lichtsnelheid (0,2 m/s). De ingestelde omgevingstemperatuur bleef gehandhaafd op een constant niveau gedurende de hele proefperiode. De dieren kregen onbeperkt water en voer.

#### Waarnemingen

De eerste 7 dagen van een periode kregen de hennen de gelegenheid om zich aan te passen aan de omgevingstemperatuur, waarna de waarnemingsperiode begon. Tijdens de daarop volgende 7-daagse waarnemingsperiode werden per kamer energie- en stikstof- (N) balansen opgesteld. De voeropname werd per kamer geregistreerd door wekelijks de verstrekte hoeveelheid voer en de voerresten te wegen. Alle dieren werden aan het begin en aan het eind van de meetweek individueel gewogen. Dagelijks werden de eieren per kamer verzameld. Aan het eind van elke meetweek werden de eieren geteld en gewogen, waarna eidooier en eiwit werden gescheiden van de schaal. De eischalen werden gedurende 16 uur in een oven bij 70°C gedroogd en vervolgens gewogen. Alleen de eischalen van de eerste batch zijn geanalyseerd, omdat geen effect van de behandelingen op het energie- en stikstofgehalte van de schalen verwacht werd. De ei-inhoud werd gehomogeniseerd en bemonsterd. De concentraties O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> in de afgevoerde lucht werden met intervallen van 9 minuten gemeten, zoals beschreven door Verstegen et al. (1987). De totale warmteproductie (HP<sub>tot</sub>) werd tijdens de laatste 6 dagen van de experimentele periode berekend volgens de vergelijking van Romijn en Lokhorst (1966):

$$HP_{\text{tot}} \text{ (kJ)} = 16,2 \times O_2 \text{ (l)} + 5,0 \times CO_2 \text{ (l)} \quad (1)$$

De fysieke activiteit werd continu geregistreerd door twee radarapparaten per kamer (Verstegen et al., 1987). Wijzigingen in de frequentie van de gereflecteerde radargolven als gevolg van bewegingen van de hennen (het Doppler effect) werden omgezet in elektrische pulsen en geregistreerd volgens dezelfde 9-min intervallen als bij HP<sub>tot</sub>. Geschatte regressiecoëfficiënten voor de relatie tussen HP en activiteitstellingen werden gebruikt voor het berekenen van de activiteit-gebonden warmteproductie (HP<sub>act</sub>), zoals beschreven door Heetkamp et al. (1995). De niet aan activiteit gerelateerde warmteproductie (HP<sub>cor</sub>) werd berekend door het aftrekken van HP<sub>act</sub> van HP<sub>tot</sub>.

Mest van de kooihennen, en de combinatie van mest en strooisel in de scharrelstallen werd na afloop van de 7-daagse meetweek kwantitatief verzameld, gehomogeniseerd en bemonsterd. Het droge stofgehalte (ds) van voer, eieren, stof, veren en mest/bevuild strooisel werd bepaald volgens ISO 6496 (1998). Het Kjeldahl N gehalte werd bepaald volgens ISO 5983 (1997) in voer, stof, veren, ei-inhoud, eischal en mest/strooisel. Het ammoniakgehalte (NH<sub>3</sub>) in de stallucht werd verzameld in een 25% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> oplossing, door een deel van de uitgaande luchtstroom door een waterbad te sturen,

terwijl de hoeveelheid ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) werd bepaald in het water dat condenseerde op de warmtewisselaar. Het bruto energie gehalte (GE) in voer, eieren, stof, veren, vers zaagsel en mest/bevuild strooisel werd geanalyseerd met een adiabaat bomcalorimetriemeter (type IKA-calorimeter C7000, Staufen, Duitsland) volgens ISO 9831 (1998a).

De Metaboliseerbare energie (ME)-opname werd berekend door de energie-inhoud van de geproduceerde mest/strooisel en methaan af te trekken van de energie-inhoud uit de opgenomen hoeveelheid voer en zaagsel. De hoeveelheid ME voor onderhoud ( $\text{ME}_m$ ) (kJ) werd als volgt berekend (Romijn en Lokhorst, 1966):

$$\text{ME}_m = \text{ME-opname} - (\text{ME voor eiwit depositie (kJ)} / 0,54) - (\text{ME voor vet depositie (kJ)} / 0,74) \quad (2).$$

De energieaanzet (ER) werd berekend door de  $\text{HP}_{\text{tot}}$  af te trekken van de ME-opname. De aanzet van stikstof (NR) werd als volgt berekend:

$$\text{NR (g)} = \text{N-opname via voer en strooisel} - \text{N in mest/strooisel, stof, NH}_3 \text{ in de lucht en NH}_4^+ \text{ in condenswater op de warmtewisselaar} \quad (3).$$

De energie die nodig was voor het aanzetten van eiwit ( $\text{ER}_p$ , kJ) werd als volgt berekend:

$$\text{ER}_p \text{ (kJ)} = 23,8 \times 6,25 \times \text{NR} \quad (4)$$

waarbij er vanuit gegaan wordt dat de energie-inhoud van eiwit 23,8 kJ/g is (Van Es, 1979). De hoeveelheid energie die aangezet wordt als vet ( $\text{ER}_f$ ) werd berekend door het aftrekken van de  $\text{ER}_p$  van ER. Op basis van de hoeveelheid eiwit en vet die vastgelegd werd in eieren, kon  $\text{ER}_p$  worden onderverdeeld in de hoeveelheid energie die nodig was voor de eiwitaanzet als gevolg van de groei van de hennen ( $\text{ER}_{p_{\text{BWG}}}$ ) en de eiwitaanzet in het ei zelf ( $\text{ER}_{p_{\text{egg}}}$ ). Op dezelfde manier kon de hoeveelheid energie die nodig was voor vetaanzet ( $\text{ER}_f$ ) onderverdeeld worden in de hoeveelheid energie die nodig was voor de vetaanzet als gevolg van de groei van de hennen ( $\text{ER}_{f_{\text{BWG}}}$ ) en de vetaanzet in het ei zelf ( $\text{ER}_{f_{\text{egg}}}$ ). In deze studie zijn de hoeveelheden energie en eiwit die overblijven voor eiwit- en vetaanzet in het dier zelf restposten, waarin mogelijke fouten van andere berekeningen en analyses kunnen cumuleren.

## 2.4 Statistische analyses

Drie van de 36 balansstudies (studie 5, 6 en 27) werden beschouwd als uitbijters en zijn daarom van de dataset uitgesloten. In proef 5 en 6 ontstonden forse problemen met veren pikken die resulteerden in veel uitval met als gevolg hiervan een verstoorde energiebalans. In studie 27 werd een zeer lage waarde gevonden voor de hoeveelheid NE voor productie. Dit veronderstelde een laag productieniveau van de hennen, terwijl dit in werkelijkheid niet het geval was. Een oplossing voor dit verschil kon niet gevonden worden. Vanwege deze uitbijters ontstond er een niet-orthogonale dataset, zodat REML (Restricted Maximum Likelihood) (Genstat 8 Committee, 2002) gebruikt is om de effecten van T, FC en HS en hun interacties op energieverbruik, legprestaties en gedrag statistisch te beoordelen. Het toegepaste model was:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + FC_j + HS_k + T \times FC + T \times HS + FC \times HS + T \times FC \times HS + e_{ijk}$$

waar  $Y_{ijk}$  = een afhankelijke variabele;  $\mu$  = het totale gemiddelde;  $T_i$  = effect van temperatuurniveau  $i$  ( $i = 3$ ; 11°C, 16°C, 21°C);  $FC_j$  = effect van veerbedekking  $j$  ( $j = 2$ ; 100%, 50%);  $HS_k$  = effect van huisvestingssysteem  $k$  ( $k = 2$ ; kooi, scharrel). De structuur van het experiment, met nummer respiratiekamer binnen een batch en deelperiodenummer binnen een batch, werd beschreven in de random term van het model.

Lineaire regressie is toegepast bij het modelleren van de energieopname op basis van de beschikbare parameters (Genstat 8 Committee, 2002).



### 3 Resultaten

#### 3.1 Effecten van de proeffactoren op de dierprestaties

Er waren geen interactie-effecten tussen HS, T en FC op voederopname, legpercentage, eigewicht, eimassa, groei en voederconversie (Tabel 3). Ook waren er geen hoofdeffecten van HS en T op deze variabelen. Wel was er een duidelijk effect van FC op de dierprestaties. Hennen met 50% FC namen  $3.5 \text{ g.kg}^{0.75} \cdot \text{d}^{-1}$  meer voer op ( $P = 0.011$ ), hadden een 5% hogere voederconversie ( $P = 0.012$ ), terwijl de groei  $0,5 \text{ g/d}$  hoger was ( $P = 0.028$ ) in vergelijking met hennen met 100% FC. Gebaseerd op deze variabelen werd het volgende model ontwikkeld voor het schatten van de metaboliseerbare energie (ME) opname van leghennen in alternatieve huisvestingssystemen:

$$\text{ME (kJ/d)} = 586 W^{0.75} - 7.94 T + 26.84 \Delta W + 11.36 EE - 0.993 FC - 36.2 HS \quad (5)$$

waarbij  $W$  = lichaamsgewicht (kg);  $T$  = omgevingstemperatuur ( $^{\circ}\text{C}$ );  $\Delta W$  = verandering in lichaamsgewicht (g/d);  $EE$  = ei massa (g/d);  $FC$  = veerbedekking (%), en  $HS$  = huisvestingssysteem (0 = kooihuisvesting, 1 = scharrelhuisvesting). Deze vergelijking verklaart 75% van de variantie, terwijl de standaardfout van de observaties werd geschat op  $62.7 \text{ kJ/d}$ .

#### 3.2 Effecten van de proeffactoren op het bruto energie (BE)- en ME-verbruik

Er werden geen interactie-effecten gevonden tussen T, FC en HS op het energieverbruik, met uitzondering van  $HP_{\text{tot}}$ , die beïnvloed werd door een interactie tussen T en FC en tussen T en HS (zie Tabel 4 en Figuur 1 en 2). De bruto energieopname (BE) van hennen met 50% veerbedekking (FC) steeg met  $64 \text{ kJ.kg}^{0.75}$ , vergeleken met hennen met 100% FC (1404 vs. 1340 kJ) (Tabel 4). De BE-opname van scharrelhennen was  $380 \text{ kJ.kg}^{0.75}$  hoger dan van kooi gehuisvest hennen (1562 vs. 1182 kJ). De omgevingstemperatuur (T) had geen effect op de GE-opname van de hennen. De ME-opname vertoonde een tendens ( $P = 0.054$ ) tot hogere waarde bij een daling van de omgevingstemperatuur (T), namelijk van  $858,1$  ( $21^{\circ}\text{C}$ ) naar  $942,8 \text{ kJ.kg}^{0.75} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $11^{\circ}\text{C}$ ). Het verwijderen van 50% van de veren resulteerde in een stijging van de dagelijkse ME-opname met  $55,6 \text{ kJ}$  ( $881,6$  vs.  $937,2 \text{ kJ.kg}^{0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ ). HS had geen effect op de ME inname. Bij  $T = 11^{\circ}\text{C}$  en  $16^{\circ}\text{C}$  was de ME / BE verhouding, op basis van alleen de bruto energieopname vanuit het voer (waarbij de bruto energieopname vanuit het strooisel dus buiten beschouwing is gelaten) 3 eenheden hoger dan de ME / BE verhouding bij  $T = 21^{\circ}\text{C}$ . De ME / BE verhouding was bij kooihennen 1.6 eenheden hoger dan bij scharrelhennen ( $78,2$  vs.  $76,6$ ). Bij hennen met een intact verenkleed werd de totale warmteproductie ( $HP_{\text{tot}}$ ) niet beïnvloed door T, terwijl  $HP_{\text{tot}}$  lineair toenam bij hennen met 50% FC, namelijk van  $637,6 \text{ kJ.kg}^{0.75} \cdot \text{d}^{-1}$  bij  $21^{\circ}\text{C}$  naar  $691,0 \text{ kJ.kg}^{0.75} \cdot \text{d}^{-1}$  bij  $11^{\circ}\text{C}$  (Figuur 1). Bij  $21^{\circ}\text{C}$  was er geen effect van HS op  $HP_{\text{tot}}$ , maar bij  $16^{\circ}\text{C}$  en  $11^{\circ}\text{C}$  was  $HP_{\text{tot}}$  bij scharrelhennen respectievelijk  $5,8\%$  en  $3,0\%$  hoger dan bij de kooihennen (Figuur 2). Er was geen effect van de proeffactoren op activiteit gebonden warmteproductie van de hennen. De niet aan activiteit-gebonden warmteproductie ( $HP_{\text{cor}}$ ) was negatief gecorreleerd met T en steeg van  $578,9 \text{ kJ.kg}^{0.75} \cdot \text{d}^{-1}$  bij  $21^{\circ}\text{C}$  naar  $633,0 \text{ kJ.kg}^{0.75} \cdot \text{d}^{-1}$  bij  $11^{\circ}\text{C}$ . Het verwijderen van 50% van de veerbedekking resulteerde in een toename van de  $HP_{\text{cor}}$  met  $29,9 \text{ kJ.kg}^{0.75} \cdot \text{d}^{-1}$  in vergelijking met de 100% FC behandeling ( $619,5$  vs.  $589,6 \text{ kJ.kg}^{0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ ). Het huisvesten van de hennen in een scharrelstelsel resulteerde in een toename van de  $HP_{\text{cor}}$  met  $39,0 \text{ kJ.kg}^{0.75} \cdot \text{d}^{-1}$  vergeleken met hennen in kooihuisvesting ( $624,1$  vs.  $585,1 \text{ kJ.kg}^{0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ ). De hoeveelheid ME die werd gebruikt voor onderhoud was vergelijkbaar bij  $21^{\circ}\text{C}$  en  $16^{\circ}\text{C}$  ( $479 \text{ kJ.kg}^{0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ ), maar neigde ( $P = 0,063$ ) naar een hogere waarde bij  $11^{\circ}\text{C}$  ( $495,5 \text{ kJ.kg}^{0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ ). De hoeveelheid ME die gebruikt werd voor productie werd niet beïnvloed door de proeffactoren.

#### 3.3 Effect van de proeffactoren op NE verbruik

De hoeveelheid netto energie (NE) die gebruikt werd voor productie neigde ( $P = 0,097$ ) naar hogere waarden bij een omgevingstemperatuur van  $11^{\circ}\text{C}$  en  $16^{\circ}\text{C}$  (gemiddeld  $283,5 \text{ kJ.kg}^{0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ ) in vergelijking met hennen die gehuisvest waren bij  $21^{\circ}\text{C}$  ( $232,7 \text{ kJ.kg}^{0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ ) (Tabel 5). De hoeveelheid NE die gebruikt werd voor productie was  $60,7 \text{ kJ.kg}^{0.75} \cdot \text{d}^{-1}$  hoger bij hennen in kooihuisvesting in vergelijking met hennen gehuisvest in een scharrelstelsel ( $296,9$  vs.  $236,2 \text{ kJ.kg}^{0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ ). Er was geen effect van FC op NE voor productie. De hoeveelheid NE die gebruikt werd voor groei neigde ( $P =$

0,067) naar hogere waarden bij een omgevingstemperatuur van 11°C en 16°C (gemiddeld 66,3 kJ.kg<sup>0,75</sup>.d<sup>-1</sup>) in vergelijking met hennen gehuisvest bij 21°C (15,4 kJ.kg<sup>0,75</sup>.d<sup>-1</sup>). De hoeveelheid NE voor groei werd niet beïnvloed door FC en HS. Kooihennen besteedden 72,3 kJ.kg<sup>0,75</sup>.d<sup>-1</sup> aan NE voor de aanzet van lichaamsvet, terwijl hennen gehuisvest in een scharrelstelsel 21,2 kJ.kg<sup>0,75</sup>.d<sup>-1</sup> aan NE vrijmaakten uit hun lichaamsvet. Bij kooihennen had T geen effect op de hoeveelheid NE voor eiwit-aanzet in het lichaam, terwijl de scharrelhennen meer NE gebruikten voor eiwit-aanzet in het lichaam bij 11°C en 16°C (gemiddeld 54,1 kJ.kg<sup>0,75</sup>.d<sup>-1</sup>) dan bij 21°C (26,6 kJ.kg<sup>0,75</sup>.d<sup>-1</sup>). De proeffactoren hadden geen effect op de totale NE-aanzet in het ei, en ook niet op de NE-aanzet die nodig was voor vet- of eiwitvorming in het ei.

**Tabel 3** Effecten van omgevingstemperatuur (T), veerbedekking (FC), en huisvestingssysteem (HS) en hun interacties op voeropname, legpercentage, eigewicht, eimassa en voederconversie (VC) van 21-26 weken oude H&N Brown Nick leghennen

	Voeropname (g.kg <sup>0,75</sup> .d <sup>-1</sup> )	Legpercentage (%)	Eigewicht (g.ei.kg <sup>0,75</sup> )	Eimassa (g.kg <sup>0,75</sup> .d <sup>-1</sup> )	VC (kg <sup>0,75</sup> )	Groei (g/d)
<b>Behandeling</b>						
Kooihuisvesting						
100% FC						
T = 11 <sup>0</sup> C	66,1	98,1	36,7	36,0	1,84	2,4
T = 16 <sup>0</sup> C	64,5	96,5	36,5	35,2	1,83	2,0
T = 21 <sup>0</sup> C	64,0	96,2	36,1	34,8	1,84	1,4
Kooihuisvesting						
50% FC						
T = 11 <sup>0</sup> C	71,2	97,5	37,5	36,6	1,95	2,9
T = 16 <sup>0</sup> C	68,2	98,2	37,0	36,4	1,88	2,8
T = 21 <sup>0</sup> C	67,4	96,2	36,7	35,2	1,84	2,2
Scharrelhuisvesting						
100% FC						
T = 11 <sup>0</sup> C	65,3	97,5	36,0	35,6	1,85	2,8
T = 16 <sup>0</sup> C	66,9	97,3	37,7	36,7	1,82	2,0
T = 21 <sup>0</sup> C	63,2	98,0	36,8	36,1	1,84	0,4
Scharrelhuisvesting						
50% FC						
T = 11 <sup>0</sup> C	71,0	97,7	36,7	36,1	1,96	2,5
T = 16 <sup>0</sup> C	68,1	96,2	37,5	36,0	1,89	2,2
T = 21 <sup>0</sup> C	65,1	95,1	37,2	35,5	1,84	1,5
SEM	2,00	1,90	1,08	1,35	0,053	0,82
<b>Hoofdeffect T.</b>						
T = 11 <sup>0</sup> C	68,4	97,7	36,7	35,1	1,90	2,6
T = 16 <sup>0</sup> C	66,9	97,0	37,2	36,1	1,86	2,2
T = 21 <sup>0</sup> C	64,9	96,4	36,7	35,4	1,84	1,4
SEM	1,35	0,98	0,70	0,92	0,035	0,55
<b>Hoofdeffect FC</b>						
100%	65,0 <sup>b</sup>	97,3	36,7	35,7	1,82 <sup>b</sup>	1,8 <sup>b</sup>
50%	68,5 <sup>a</sup>	96,8	37,1	36,0	1,91 <sup>a</sup>	2,3 <sup>a</sup>
SEM	0,86	1,17	0,57	0,72	0,032	0,38
<b>Hoofdeffect HS</b>						
Kooi	66,9	97,1	36,8	35,7	1,87	2,3
Scharrel	66,6	97,0	37,0	36,0	1,85	1,9
SEM	1,11	1,18	0,72	0,98	0,044	0,53
<b>P-waarden</b>						
T.	0,184	0,306	0,849	0,709	0,154	0,253
FC	<b>0,011</b>	0,743	0,502	0,598	<b>0,012</b>	<b>0,028</b>
HS	0,973	0,973	0,724	0,777	0,730	0,578
T. * FC	0,083	0,432	0,531	0,719	0,303	0,583
T. * HS	0,768	0,827	0,675	0,851	0,255	0,855
FC * HS	0,320	0,556	0,721	0,146	0,609	0,397
T. * FC * HS	0,410	0,502	0,680	0,525	0,959	0,608

<sup>a-b</sup> Waarden binnen een behandeling met een verschillend superscript zijn significant verschillend (P<0,05).

**Tabel 4** Effecten van omgevingstemperatuur (T), veerbedekking (FC), en huisvestingssysteem (HS) en hun interacties op energieverbruik (in kJ.kg<sup>0,75</sup>.d<sup>-1</sup>) bij 21-26 weken oude H&N Brown Nick leghennen

	BE opname Voer/strooisel	ME op- name	Ratio ME/GE <sup>1</sup>	HP <sub>tot</sub>	HP <sub>act</sub>	HP <sub>cor</sub>	ME <sub>m</sub>	ME <sub>Prod</sub>
<b>Behandeling</b>								
Kooihuisvesting								
100% FC								
T = 11 <sup>0</sup> C	1174	922,9	78,4	612,1 <sup>de</sup>	41,3	587,4	463,3	457,6
T = 16 <sup>0</sup> C	1150	912,7	79,2	602,5 <sup>e</sup>	43,3	559,9	447,0	463,8
T = 21 <sup>0</sup> C	1115	864,8	77,4	607,8 <sup>e</sup>	60,1	548,3	459,1	403,4
Kooihuisvesting								
50% FC								
T = 11 <sup>0</sup> C	1265	1018,1	80,3	679,1 <sup>b</sup>	49,9	633,4	510,9	505,0
T = 16 <sup>0</sup> C	1217	952,9	78,1	644,6 <sup>c</sup>	48,4	594,4	489,3	461,5
T = 21 <sup>0</sup> C	1174	893,1	75,9	638,2 <sup>c</sup>	45,8	587,3	495,5	395,4
Scharrelhuisvesting								
100% FC								
T = 11 <sup>0</sup> C	1535	874,0	77,0	626,6 <sup>cd</sup>	19,9	632,8	470,8	385,0
T = 16 <sup>0</sup> C	1563	896,1	76,8	649,8 <sup>c</sup>	39,3	612,4	481,3	413,3
T = 21 <sup>0</sup> C	1503	819,3	73,8	618,1 <sup>d</sup>	38,4	597,2	473,5	343,7
Scharrelhuisvesting								
50% FC								
T = 11 <sup>0</sup> C	1639	956,3	77,8	702,9 <sup>a</sup>	30,9	678,6	537,0	417,9
T = 16 <sup>0</sup> C	1585	947,5	79,7	670,2 <sup>b</sup>	33,0	641,0	498,3	447,3
T = 21 <sup>0</sup> C	1543	855,3	74,7	637,1 <sup>c</sup>	57,4	582,6	488,7	364,6
SEM	41,96	37,5	1,09	14,06	13,31	23,79	11,71	37,85
<b>Hoofdeffect T.</b>								
T = 11 <sup>0</sup> C	1404	942,8	78,4 <sup>a</sup>	655,2	35,5	633,0 <sup>a</sup>	495,5	441,4
T = 16 <sup>0</sup> C	1379	927,3	78,5 <sup>a</sup>	641,8	41,0	601,9 <sup>b</sup>	479,0	446,5
T = 21 <sup>0</sup> C	1334	858,1	75,4 <sup>b</sup>	625,3	50,4	578,9 <sup>c</sup>	479,2	376,8
SEM	28,39	24,0	0,48	7,20	6,72	11,96	6,27	24,13
<b>Hoofdeffect FC</b>								
100%	1340 <sup>b</sup>	881,6 <sup>b</sup>	77,1	619,5	40,4	589,6 <sup>b</sup>	465,8 <sup>b</sup>	411,1
50%	1404 <sup>a</sup>	937,2 <sup>a</sup>	77,6	662,0	44,2	619,5 <sup>a</sup>	503,3 <sup>a</sup>	431,9
SEM	17,76	15,5	0,36	8,15	5,51	9,81	6,25	15,09
<b>Hoofdeffect HS</b>								
Kooi	1182 <sup>b</sup>	927,4	78,2 <sup>a</sup>	630,7	48,1	585,1 <sup>b</sup>	477,5	447,8
Scharrel	1562 <sup>a</sup>	891,4	76,6 <sup>b</sup>	650,8	36,5	624,1 <sup>a</sup>	491,6	395,3
SEM	22,99	19,2	0,35	8,15	5,96	9,81	6,57	19,60
<b>P-waarden</b>								
T.	0,496	0,054	<b>0,002</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,364	<b>0,014</b>	0,063	0,092
FC	<b>0,015</b>	<b>0,023</b>	0,425	<b>&lt;0,001</b>	0,809	<b>0,033</b>	<b>0,016</b>	0,178
HS	<b>&lt;0,001</b>	0,294	<b>0,032</b>	<b>0,045</b>	0,206	<b>0,011</b>	0,164	0,149
T. * FC	0,102	0,226	0,701	<b>0,005</b>	0,882	0,634	0,165	0,668
T. * HS	0,978	0,791	0,357	<b>0,040</b>	0,703	0,590	0,382	0,792
FC * HS	0,437	0,873	0,122	0,632	0,608	0,430	0,431	0,386
T. * FC * HS	0,389	0,936	0,465	0,636	0,446	0,678	0,280	0,790

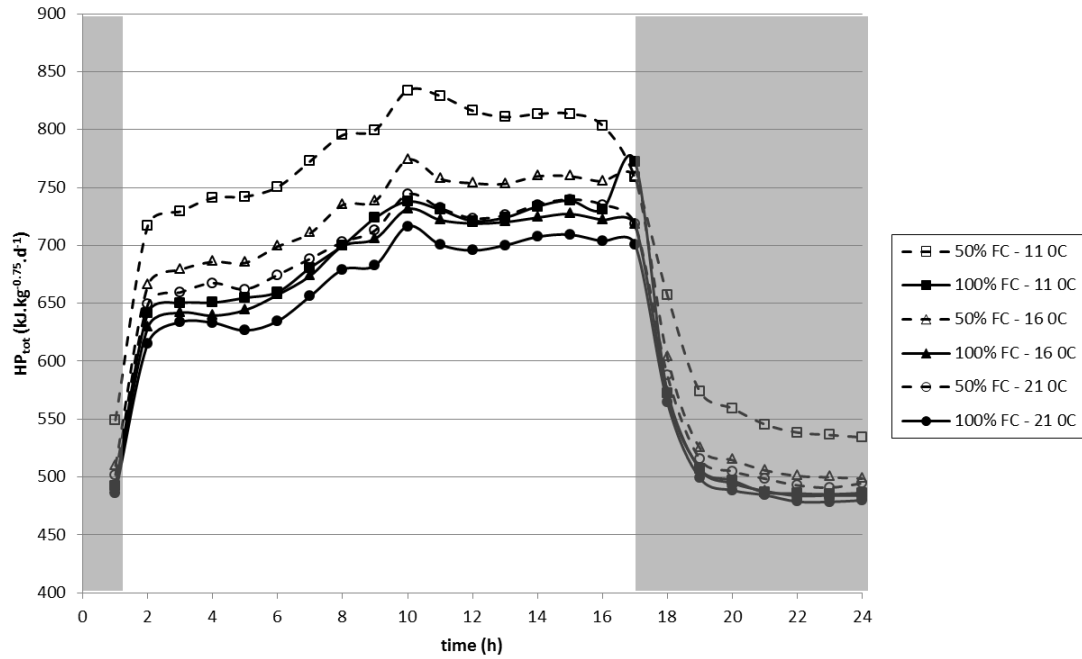
<sup>1</sup> Gebaseerd op de GE-opname vanuit het voer, terwijl de GE-opname vanuit het strooisel hier buiten beschouwing is gelaten.

<sup>a-c</sup> Waarden binnen een behandeling met een verschillend superscript zijn significant verschillend ( $P < 0,05$ ).

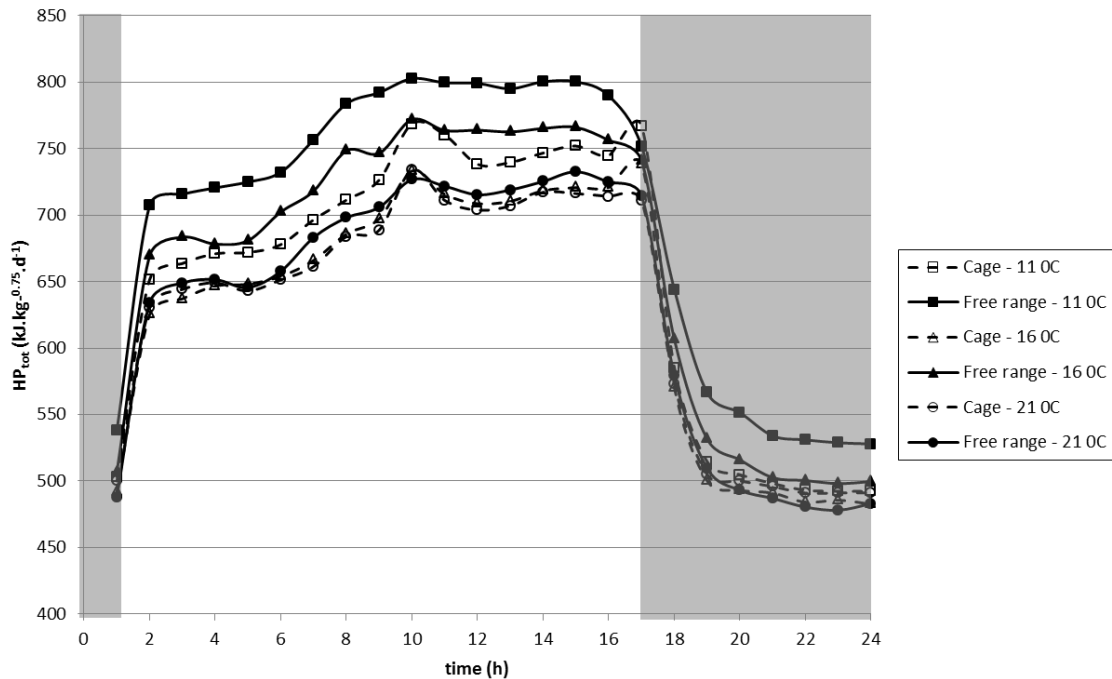
**Tabel 5** Effecten van omgevingstemperatuur (T), veerbedekking (FC), en huisvestingssysteem (HS) en hun interacties op het netto energieverbruik voor productie (in kJ.kg<sup>0,75</sup>.d<sup>-1</sup>) van 21-26 weken oude H&N Brown Nick leghennen

	NE Prod.	NE Groei	NE_Groei Vet	NE_Groei Eiwit	NE Ei	NE_ei Vet	NE_ei Eiwit
<b>Behandeling</b>							
Kooihuisvesting							
100% FC							
T = 11 <sup>o</sup> C	309,4	92,2	99,9	-7,7	217,2	114,6	102,6
T = 16 <sup>o</sup> C	309,2	83,4	78,1	5,4	225,8	123,8	102,0
T = 21 <sup>o</sup> C	256,7	34,7	22,4	12,3	222,1	120,6	101,5
Kooihuisvesting							
50% FC							
T = 11 <sup>o</sup> C	341,6	123,3	117,8	5,5	218,2	112,7	105,5
T = 16 <sup>o</sup> C	310,2	80,9	89,3	-8,5	229,4	123,3	106,0
T = 21 <sup>o</sup> C	254,3	25,1	26,1	-1,1	229,2	126,2	103,0
Scharrelhuisvesting							
100% FC							
T = 11 <sup>o</sup> C	223,4	11,9	-52,6	63,6	203,7	104,2	99,0
T = 16 <sup>o</sup> C	248,4	32,4	-15,5	47,9	216,1	110,7	105,3
T = 21 <sup>o</sup> C	201,8	-5,7	-29,2	23,5	207,4	103,3	104,1
Scharrelhuisvesting							
50% FC							
T = 11 <sup>o</sup> C	249,5	35,9	-22,5	54,3	208,6	106,0	103,4
T = 16 <sup>o</sup> C	276,2	65,5	14,7	50,8	210,7	106,1	104,6
T = 21 <sup>o</sup> C	218,1	7,6	-22,0	29,6	210,5	109,1	101,4
SEM	29,16	29,37	27,91	9,46	11,7	8,79	3,62
<b>Hoofdeffect T.</b>							
T = 11 <sup>o</sup> C	281,0	65,8	35,7	28,9	211,9	109,4	102,6
T = 16 <sup>o</sup> C	286,0	65,5	41,7	23,9	220,5	116,0	104,5
T = 21 <sup>o</sup> C	232,7	15,4	-0,7	16,1	217,3	114,8	102,5
SEM	18,68	18,83	17,97	5,94	8,11	6,07	2,43
<b>Hoofdeffect FC</b>							
100%	258,2	41,5	17,2	24,2	215,4	112,9	102,4
50%	275,0	56,4	33,9	21,8	217,8	113,9	104,0
SEM	10,91	13,38	10,68	5,12	6,41	4,86	1,96
<b>Hoofdeffect HS</b>							
Kooi	296,9 <sup>a</sup>	73,3	72,3 <sup>a</sup>	1,0	223,6	120,2	103,4
Scharrel	236,2 <sup>b</sup>	24,6	-21,2 <sup>b</sup>	44,9	209,5	106,6	103,0
SEM	14,02	17,94	14,11	6,94	8,96	6,83	2,71
<b>P-waarden</b>							
T.	0,097	0,067	0,125	0,316	0,687	0,589	0,717
FC	0,165	0,191	0,134	0,657	0,306	0,385	0,146
HS	<b>0,043</b>	0,154	<b>0,013</b>	<b>0,012</b>	0,326	0,219	0,972
T. * FC	0,759	0,732	0,810	0,467	0,443	0,179	0,268
T. * HS	0,708	0,533	0,268	<b>0,026</b>	0,952	0,788	0,727
FC * HS	0,396	0,264	0,471	0,208	0,303	0,785	0,124
T. * FC * HS	0,848	0,768	0,950	0,140	0,513	0,700	0,499

<sup>a-b</sup> Waarden binnen een behandeling met een verschillend superscript zijn significant verschillend ( $P < 0,05$ ).



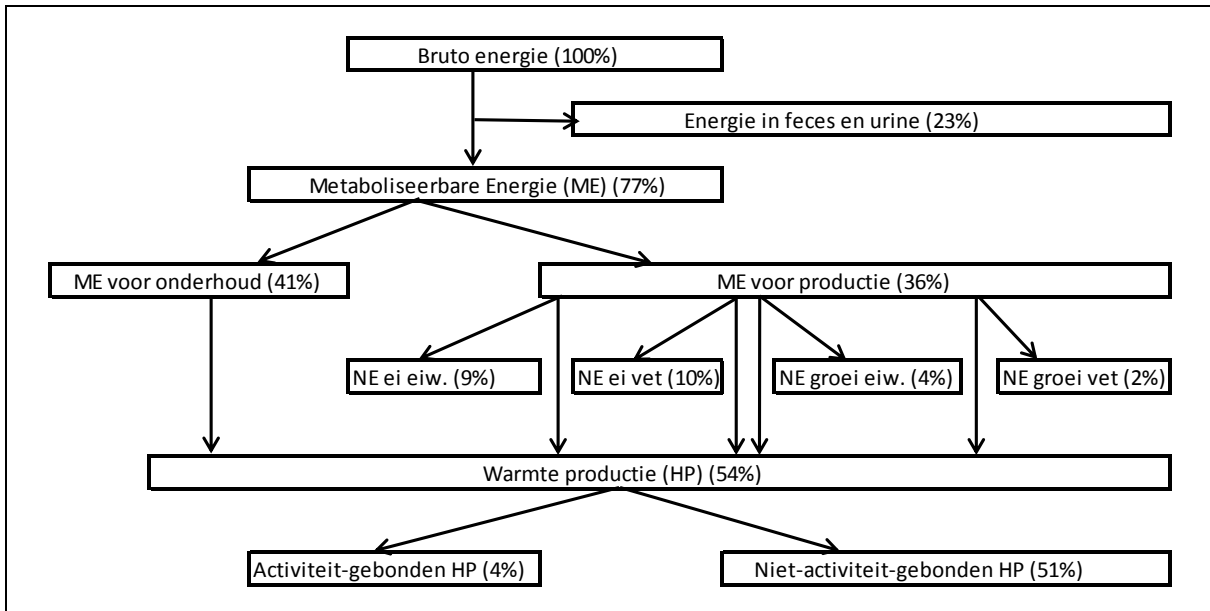
**Figuur 1** Uurgemiddelden per etmaal van de totale warmteproductie ( $HP_{tot}$ , SEM = 11,2) van leghennen met 50% FC (gestreepte lijnen, open symbolen) of 100% FC (doorgetrokken lijnen, gevulde symbolen) bij omgevingstemperaturen van 11 °C (vierkantjes), 16 °C (driehoekjes), of 21 °C (rondjes). De periode dat het licht uit was is weergegeven met de grijze achtergrond



**Figuur 2** Uurgemiddelden per etmaal van de totale warmteproductie ( $HP_{tot}$ , SEM = 13,7) van kooihennen (gestreepte lijnen, open symbolen) of scharrelhennen (dichte lijnen, gevulde symbolen) bij omgevingstemperaturen van 11 °C (vierkantjes), 16 °C (driehoekjes), of 21 °C (rondjes). De periode dat het licht uit was is weergegeven met de grijze achtergrond

## 4 Discussie

Dit experiment is uitgevoerd om de interactie-effecten van de omgevingstemperatuur (11°C, 16°C, 21°C), verenkleedbedekking (100% vs. 50%) en huisvestingssysteem (kooi- vs. scharrelhuisvesting) op energieverbruik en legprestaties van leghennen te onderzoeken en een model te ontwikkelen dat de ME-opname voorspelt op basis van de resultaten van dit experiment. Een schematisch overzicht van de energiebalans, uitgedrukt als percentage van de bruto energieopname (=100%), op basis van de gemiddelde resultaten van de huidige studie is weergegeven in Figuur 3.



**Figuur 3** Schematisch overzicht van de energiebalans, uitgedrukt als percentage van de bruto energie opname, op basis van de gemiddelde resultaten van de huidige studie. NE ei eiw. = netto energie voor eiwitaanzet in het ei; NE ei vet = netto energie voor vetaanzet in het ei; NE groei eiw. = netto energie eiwitaanzet in het dier; NE groei vet = netto energie voor vetaanzet in het dier

### 4.1 Effect van de omgevingstemperatuur

Als gevolg van het verlagen van de omgevingstemperatuur van 21°C naar 11°C stegen de BE en ME opname met respectievelijk 65 en 85 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup>. Hieruit blijkt dat de omzetting van BE naar ME bij lagere omgevingstemperaturen efficiënter verloopt. De herrekende ME-waarde van het voer bedroeg 11,74, 12,29 en 12,38 MJ/kg bij respectievelijk 21, 16 en 11°C. In het huidige experiment resulteerde een verlaging van T van 21°C naar 11°C in een 10% verhoogde ME-opname (85 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup>). Deze stijging was vooral het gevolg van extra energieverlies als gevolg van meer warmteproductie (30 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup>) en een stijging van de hoeveelheid ME voor groei van het dier (72 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup>). De voeropname steeg in dit temperatuur traject met 3,5 g.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup>, wat overeenkomt met 41 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup>. Elke graad daling in T zorgde voor een gemiddelde stijging van de ME-opname met 8,5 kJ.kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup>, wat overeenkomt met een absolute waarde van 13,3 kJ per hen. Het model dat de energieopname voorspelt (formule 5) hanteert een waarde van 7,94 kJ voor elke graad daling in T, wat gezien het voorgaande aan de lage kant is. Peguri en Coon (1993), die eveneens onderzoek deden met leghennen met 100% en 50% FC, rapporteerden (gemiddeld over de beide niveaus van FC) een stijging in voeropname van 109 g/d bij 23,9°C naar 118 g/d bij 12,8°C, wat overeenkomt met een stijging van 0,75% in voeropname voor elke graad vermindering van T. In de huidige studie nam de ME-opname/kg<sup>0.75</sup>.d<sup>-1</sup> in het T bereik van 21°C tot 11°C toe met 0,99% voor elke graad vermindering van T. Deze waarde is in overeenstemming met de 0,95% die gerapporteerd is door Al-Saffar en Rose (2002) op basis van een literatuurstudie naar het effect van T op productiekennmerken bij leghennen. In het huidige experiment werd de eimassa niet beïnvloed door de omgevingstemperatuur. In tegenstelling hiermee vonden Peguri en Coon (1993) een daling in eimassa met 8% (van 49,5 naar 45,5 g/d) als T verlaagd werd 23,9°C naar 12,8°C. Al-Saffar en Rose (2002) rapporteerden op basis

van hun literatuuronderzoek over het T bereik van 21°C tot 11°C een gemiddelde stijging van de eimassa van 2,5%, wat aangeeft dat de 8% afname van Peguri en Coon (1993) sterk lijkt af te wijken van het gangbare beeld. In het huidige experiment steeg de voederconversie numeriek (maar niet significant) met 3% bij een daling van T van 21°C naar 11°C, wat aanzienlijk minder is dan de gemiddelde stijging van 11% die Al-Saffar en Rose (2002) rapporteerden.

In de huidige studie was er geen verschil in ME voor onderhoud ( $ME_m$ ) tussen 21°C en 16°C, terwijl  $ME_m$  bij 11°C 3,5% ( $16 \text{ kJ.kg}^{0,75} \cdot \text{d}^{-1}$ ) hoger was. Peguri en Coon (1993) vonden een stijging van 19,5% in  $ME_m$  (van 449 naar 537  $\text{kJ.kg.d}^{-1}$ ) bij een daling van T van 23°C naar 12,8°C.

In het huidige experiment was er een interactie-effect van T x FC op  $HP_{tot}$ . Bij hennen met een intact verenkleed werd de totale warmteproductie ( $HP_{tot}$ ) niet beïnvloed door T, terwijl  $HP_{tot}$  bij hennen met 50% FC over het traject van 21°C naar 11°C een stijging vertoonde van 8,4%. Hieruit kan geconcludeerd worden dat een intact verenkleed de hennen in staat stelt zichzelf zodanig te isoleren dat er geen extra warmteverlies optreedt, zelfs bij een lage T van 11°C. Vergelijkbare interacties tussen T en FC werden waargenomen in eerdere experimenten (Richards, 1977; Peguri en Coon, 1993), hoewel de verschillen tussen behandelingen in oudere studies groter waren. Richards (1977) bijvoorbeeld vond al bij 20°C bij slecht bevederde hennen (65% van de veren was verwijderd) een toename in  $HP_{tot}$  van 59% in vergelijking met goed bevederde hennen, terwijl in het huidige experiment het verschil in  $HP_{tot}$  tussen de twee niveaus van FC bij 21°C slechts 4% was. Het is niet volledig duidelijk of dit grote verschil mogelijk het gevolg was van verschillen in externe omstandigheden (bijvoorbeeld luchtvochtigheid, lichtsnelheid) of van verschillen in eigenschappen van de hen zelf (bijvoorbeeld het isolatievermogen van de huid).

#### 4.2 Effect van niveau van veerbedekking

In het huidige experiment resulteerde het verwijderen van 50% van het verenkleed tot een toename in ME-opname van 6,3% ( $55,6 \text{ kJ.kg}^{0,75} \cdot \text{d}^{-1}$ ). In het experiment van Peguri en Coon (1993) gaf 50% minder verenkleed een stijging van 12,7% in ME-opname (gemiddeld effect gemeten bij T-waarden van 12,8°C en 23,9°C), wat veel hoger is dan het effect dat in het huidige experiment gevonden is. Het verschil tussen beide experimenten trad voornamelijk op bij lage T. In het huidige experiment gaf het verwijderen van 50% van de veren bij 11°C een stijging in ME-opname van 9,9% ten opzichte van hennen met een volledig verenkleed, terwijl 50% veerverwijdering in het experiment van Peguri en Coon (1993) bij 12,8°C resulteerde in een 18% hogere voeropname. Mogelijk hangt dit verschil samen met verschil in proefactoren, zoals het ras (Lohmann Brown Lite vs. DeKalb XL Witte Leghorn), de leeftijd van hennen (21 vs. 59 wk), lichtsnelheid en/of lichaamsgewicht.

Peguri en Coon (1993) hebben ook de effecten van het verwijderen van 100% van het verenkleed bepaald. Als gevolg van het verwijderen van de eerste 50% van de veerbedekking steeg de voederopname met 13,5 g/d, terwijl de voeropname nog eens toenam met 17,5 g/d na het verwijderen van de tweede 50% van de veren, wat aangaf dat er een vrijwel lineair verband was tussen het niveau van veerbedekking en de energieopname.

In het huidige experiment daalde de voerbenutting met 4,7% ( $VC = 1,82$  vs.  $1,91$ ) als gevolg van het verwijderen van 50% van de veren, terwijl deze daalde met 12% ( $0,156$  vs.  $0,139 \text{ g eimassa/kcal}$ ) in de studie van Peguri en Coon (1993). Mogelijk speelden hierbij dezelfde factoren een rol als de genoemde factoren met betrekking tot de verschillen in ME-opname tussen beide experimenten.

#### 4.3 Effect van huisvestingssysteem

Het doel van de factor HS was het realiseren van een contrast in fysieke activiteit van de hennen. Verwacht werd dat scharrelhennen meer fysieke activiteit zouden vertonen dan kooihennen. In het scharrelstelsel hadden de hennen meer bewegingsruimte dan in de kooien ( $1430$  vs.  $750 \text{ cm}^2/\text{kip}$ ), zodat ze konden lopen en scharrelen, terwijl verhoogde zitstokken beschikbaar waren waar ze op konden springen. Gemiddeld besteedden de hennen slechts 4,7% van de ME-opname aan activiteit-gebonden warmte. Hoewel de totale HP in de scharrelhuisvesting 3,2% hoger was dan in de kooien, verschilde  $HP_{act}$  echter niet tussen beide systemen. Op basis van video-opnamen is vastgesteld dat kooihennen ten opzichte van scharrelhennen meer tijd besteedden aan voeropnamegedrag ( $24,9$  vs.  $16,3\%$  van de observatieperiode), maar dat ook meer tijd werd besteed aan zitgedrag ( $37,5$  vs.  $23,4\%$ ) (gegevens niet weergegeven). Overall was er in het huidige experiment echter geen effect van HS op  $HP_{act}$  en op ME-opname voor onderhoud ( $ME_m$ ). Ketelaars et al. (1985) vonden in een van de twee uitgevoerde experimenten een verminderde  $ME_m$  bij kooihennen ten opzichte van

scharrelhennen gehuisvest op een roostervloer. De auteurs veronderstelden dat dit verschil veroorzaakt werd door de hogere activiteit van de scharrelhennen, hetgeen niet in overeenstemming is met onze bevindingen. In het huidige experiment werd zaagsel gebruikt als strooisel, wat mogelijk het warmteverlies beperkte bij hennen die op de vloer zaten, terwijl er geen isolatiemateriaal aanwezig was in de studie van Ketelaars et al. (1985). Mogelijk geeft dit een verklaring voor de verschillen in resultaten tussen beide experimenten. Mogelijk werd  $HP_{act}$  bij de scharrelhennen in de huidige studie wel enigszins onderschat. Het radarsysteem was niet in staat om de activiteiten van de hennen te meten op het moment dat deze in de legnesten verbleven. Op basis van de video-observaties is gebleken dat het aantal waargenomen hennen gemiddeld 16% lager was dan het aantal hennen dat daadwerkelijk aanwezig was, wat aangeeft dat er gemiddeld steeds 5-6 hennen in de legnesten waren. Maar zelfs als de  $HP_{act}$  van de scharrelhuisvesting 16% hoger zou zijn geweest dan nu gemeten, dan nog zou dit onder het niveau gebleven zijn van de kooihuisvesting. Scharrelhennen gebruikten duidelijk meer energie voor het aanzetten van eiwit dan hennen in kooien ( $44,9$  vs.  $1,0 \text{ kJ.kg}^{0,75} \cdot \text{d}^{-1}$ ), terwijl de hoeveelheid energie die gebruikt werd voor vetaanzet bij deze hennen zelfs negatief was ( $-21,2$  vs.  $72,3 \text{ kJ.kg}^{0,75} \cdot \text{d}^{-1}$ ). Deze resultaten zijn in overeenstemming met die van Bolhuis *et al.* (2008), die vonden dat varkens gehuisvest op een strobed meer energie vastlegden als eiwit en minder als vet in vergelijking met varkens gehuisvest in een kale omgeving zonder stro. Deze auteurs veronderstelden dat deze verschillen zouden kunnen samenhangen met de hogere mate van activiteit die de varkens op stro vertoonden na de maaltijd, waardoor de stijging in de plasma glucose spiegel afgeremd werd en daarmee ook de mate van vetaanzet. In het huidige experiment was er echter geen verschil in  $HP_{act}$ , wat er op duidt dat er geen effect was van HS op de mate van activiteit. Het is echter de vraag of  $HP_{act}$  in deze studie een goed beeld van het werkelijke activiteitsniveau van de hennen geeft. Het radarsysteem kon namelijk geen onderscheid maken tussen de verschillende typen bewegingen van de hennen. Kooihennen vertoonden veel bewegingen met de kop in de voerbak, terwijl de scharrelhennen vaker scharrelden. Beide bewegingen veroorzaakten een puls in het radarsysteem, hoewel aangenomen wordt dat het effect ervan op de spierontwikkeling, en als gevolg daarvan op de eiwitaanzet, duidelijk verschillend is.

#### 4.4 Voorspelling van de energieopname

Op basis van de resultaten van dit experiment is een model opgesteld, waarmee de ME-opname van leghennen kan worden berekend. Vergelijkbare modellen zijn eerder door anderen opgesteld (NRC, 1994; Sakomura, 2004). Hoewel het om een rekenkundige vergelijking gaat, wordt hieronder nagegaan in hoeverre de coëfficiënten van de vergelijking overeenkomen met de fysiologische processen. Zo is bijvoorbeeld het energieverbruik van een niet-groeiende en niet-producerende hen met een gewicht van 1 kg bij  $21^\circ\text{C}$   $553 \text{ kJ/d}$  volgens de Amerikaanse NRC normen (1994) en  $484 \text{ kJ/d}$  volgens Sakomura (2004), terwijl het model in de huidige studie hiervoor  $419 \text{ kJ/d}$  berekent. Uit diverse experimenten, waarin de methode van indirecte calorimetrie was toegepast, werd echter consequent een onderhoudsbehoefte van leghennen van ca.  $400 \text{ kJ/kg}^{0,75} \cdot \text{d}^{-1}$  vastgesteld. Pesti et al. (1990) berekenden een onderhoudsbehoefte van  $396$  en  $436 \text{ kJ/kg}^{0,75} \cdot \text{d}^{-1}$  bij respectievelijk zwarte en rode leghennen. De schattingen van Macleod en Jewitt (1988) varieerden tussen  $420$  en  $435 \text{ kJ/kg}^{0,75} \cdot \text{d}^{-1}$ , terwijl Balnave et al. (1978) bij hennen, waarbij het ovarium was verwijderd, een waarde van  $388 \text{ kJ/kg}^{0,75} \cdot \text{d}^{-1}$  vonden. Op basis van deze referenties lijkt de coëfficiënt voor het schatten van de onderhoudsbehoefte in de formule van de NRC (1994) en Sakomura (2004) hoger te zijn dan de biologische waarde, terwijl deze in de huidige studie hier wel goed mee overeenkomt.

De coëfficiënt voor de hoeveelheid energie voor groei werd in het huidige experiment ingeschat op  $26,8 \text{ kJ/g}$ . Deze waarde komt redelijk goed overeen met de  $23,0 \text{ kJ/g}$  in de NRC formule (1994) en de  $27,9 \text{ kJ/g}$  die Sakomura (2004) rapporteerde.

De NRC formule (1994) en Sakomura (2004) vermeldden coëfficiënten voor de energiebehoefte van eimassa van respectievelijk  $8,66$  en  $10,03 \text{ kJ/g}$ . Deze waarden lijken echter lager te zijn dan de werkelijke energiekosten voor het produceren van eimassa. De energie-inhoud van een ei varieerde van  $7,1 \text{ kJ/g}$  bij 27-weekse hennen tot  $7,5 \text{ kJ/g}$  bij 48-weekse hennen (Chwalibog, 1992). Deze variatie hing samen met een hogere vet/eiwitverhouding per kg ei, naarmate de leeftijd van de hennen toenam. Volgens dezelfde auteur is de efficiëntie waarmee energie wordt omgezet in eiwit en vet in het ei respectievelijk  $0,50$  en  $0,79$ . Gebaseerd op het verloop van het eiwit- en vetgehalte in eieren in het onderzoek van Chwalibog (1992), is berekend dat de omzetting van energie in vet en eiwit verloopt met een gemiddelde efficiëntie van  $0,625$ . Op basis van het voorgaande variëren de energiekosten voor het produceren van een ei van  $11,38 \text{ kJ/g}$  bij 27-weekse hennen tot  $12,02 \text{ kJ/g}$  bij 48-weekse hennen. De berekende energiekosten van  $11,36 \text{ kJ/g}$  in het model van het huidige



experiment komt goed overeen met de fysiologische waarde die van toepassing is op hennen aan het begin van de legperiode.

De formules van de NRC (1994) en Sakomura (2004) houden geen rekening met de mate van veerbedekking. Volgens Herremans et al. (1989) kan, vanwege de grote variatie in HP, de voeropname van leghennen slechts matig voorspeld worden als er sprake is van een brede range in T en FC. Volgens deze auteurs droeg variatie in kaalheid in hun dataset voor 48% bij aan de variatie in HP. In de huidige studie verhoogde elk percentage minder veerbedekking de dagelijkse energiebehoefte met 0,993 kJ. Dit betekent een extra energiebehoefte van 99,3 kJ/d bij hennen die volledig kaal zijn, wat overeenkomt met 8,4 g voer/d met een energie-inhoud van 11,8 kJ. Hoewel de waarde van 0,993 kJ/% kaalheid veronderstelt dat deze toegepast mag worden op het traject van 0 – 100%, moet er rekening mee gehouden worden dat in de huidige studie slechts 2 niveaus (100% en 50% FC) zijn onderzocht. Deze aanname komt echter wel overeen met bevindingen van Peguri en Coon (1993), die in het traject van 0% tot 100% kaalheid een vrijwel lineair verband vonden tussen FC en energieopname.

De standaard observatiefout bedroeg in het model van de huidige studie  $62,7 \text{ kJ/kg}^{0,75} \cdot \text{d}^{-1}$ , wat overeenkomt met 6,9% van de ME-opname. Deze niet-verklaarde fractie wordt 'residuele voeropname' (RFC) genoemd. Uit de literatuur blijkt dat RFC varieerde tussen 47 en  $180 \text{ kJ/kg}^{0,75} \cdot \text{d}^{-1}$  (4 – 12% van de voeropname), wanneer alleen het metabool gewicht, de groei en de hoeveelheid eimassa in het model opgenomen werden (Luiting, 1990). Het opnemen van deze drie factoren in het model van de huidige studie leverde een RFC-waarde op van  $74 \text{ kJ/kg}^{0,75} \cdot \text{d}^{-1}$ , wat betekent dat het toevoegen van de factoren T, FC en HS resulteerde in een verdere verlaging van RFC van slechts  $11,3 \text{ kJ/kg}^{0,75} \cdot \text{d}^{-1}$ . Volgens Luiting (1990) wordt de variatie in RFC met name veroorzaakt door variatie in de hoeveelheid ME voor onderhoud ( $ME_m$ ).  $ME_m$  wordt weer beïnvloed door de factoren fysieke activiteit, basaal metabolisme, lichaamstemperatuur en lichaamssamenstelling. Elk van deze factoren is voor een deel genetisch bepaald en kunnen een cumulatief effect hebben op de genetische variatie in RFC. Bentsen (1983b) vond over de hele legperiode gemeten een standaard observatiefout van 70 - 80  $\text{kJ/kg}^{0,75} \cdot \text{d}^{-1}$ . Hierbij vond hij een correlatie van 0,5 tussen opeenvolgende perioden, wat aangeeft dat er ten aanzien van de RFC een behoorlijke mate van erfelijkheid is.

Fysieke activiteit kan bij ad-libitum gevoerde hennen 9 – 25% van  $HP_{\text{tot}}$  ( $40 - 117 \text{ kJ/kg}^{0,75} \cdot \text{d}^{-1}$ ) uitmaken (Boshouwers and Nicaise, 1985; Macleod et al., 1988). In het huidige experiment bedroeg  $HP_{\text{act}}$  echter slechts 6,6% van  $HP_{\text{tot}}$ . Wanneer in de huidige studie  $HP_{\text{act}}$  werd toegevoegd aan het model voor het voorspellen van de ME-opname, bleek dit geen bijdrage te leveren aan het verminderen van RFC.  $HP_{\text{act}}$  werd in dit experiment vastgesteld met behulp van radartechniek. Stil staan wordt door de radar echter niet waargenomen als een activiteit, terwijl de energiekosten van staan 2 – 44  $\text{kJ/kg}^{0,75} \cdot \text{d}^{-1}$  bedragen (Luiting, 1990). Daarnaast kan  $HP_{\text{act}}$  onderverdeeld worden in de hoeveelheid energie die nodig is voor het laten bewegen van spieren en in de hoeveelheid energie die verloren gaat doordat de isolatielaag als gevolg van de beweging van de hen doorbroken wordt. Dit betekent dat het effect van  $HP_{\text{act}}$  op de energiebehoefte verstrengeld kan zijn met de kwaliteit van het verenkleed. FC droeg wel aantoonbaar bij aan de voorspelling van de ME-opname in deze studie, maar ondanks dat werd nog steeds 6,9% van de ME-opname niet verklaard door het model. Een deel van hiervan kan verklaard worden door henverschillen in de oppervlakte van niet-geïsoleerde lichaamsdelen, zoals de kam, lellen en poten. Het warmteverlies via de kam en lellen wordt door Van Kampen en Romijn (1970; in Luiting, 1990) bij  $T = 22^\circ\text{C}$  ingeschat op 20% van  $HP_{\text{tot}}$ . Bentsen (1983a) vond een correlatie van 0,12 tussen de lengte van de kam en RFC, en een correlatie van 0,26 tussen het loopbeen en RFC. Samenvattend kan gesteld worden dat een deel van de RFC mogelijk samenhangt met verschillen tussen ronden in de mate van warmteverlies via niet-bedekte lichaamsdelen. Bentsen (1983a) vond ook correlaties tussen RFC en de hoeveelheid depotvet in de buik- en borstholte van hennen van respectievelijk 0,40 en -0,05. In de huidige studie bleek de vet- en eiwitaanzet beïnvloed te worden door HS. Hoewel HS wel was opgenomen in het model, is het toch niet uitgesloten dat individuele diervariatie in de hoeveelheid depotvet enigszins bijdroeg aan de RFC.

## 5 Conclusies

Het doel van deze studie was om de effecten van omgevingstemperatuur (T), conditie verenkleed (FC) en huisvestingssysteem (HS) op het energieverbruik en de legprestaties van leghennen vast te stellen, en op basis van de resultaten van dit experiment een formule te ontwikkelen die de voeropname van leghennen in alternatieve systemen goed kan voorspellen. De resultaten wijzen op het belang van een goede conditie van het verenkleed bij het voorkomen van warmteverlies, met name bij lage omgevingstemperaturen. Hennen met een intact verenkleed produceren in het traject van 21°C tot 11°C evenveel warmte, terwijl hennen met 50% veerbedekking bij 11°C 8,4% meer warmte produceren ten opzichte van 21°C. Bij 21°C is er geen verschil in warmteproductie tussen kooihennen en scharrelhennen. Bij 16°C en 11°C produceren scharrelhennen echter 5,8% en 3,0% meer warmte dan kooihennen. Ondanks de behoorlijk extreme verschillen tussen behandelingen werden legpercentage, eigewicht en eimassa hierdoor niet beïnvloed. Hieruit blijkt de grote aanpassingscapaciteit van leghennen onder een brede range van omgevingscondities.

Op basis van de resultaten van dit onderzoek is het volgende model afgeleid voor het voorspelen van de ME-opname van leghennen:

$$\text{ME-opname (kJ/d)} = 586 W^{0.75}(\text{kg}) - 7,94 T(^{\circ}\text{C}) + 26,84 \text{ Groei (g/d)} + 11,36 \text{ Eimassa (g/d)} - 0,993 \text{ FC (\% veerbedekking; 100\% = volledig intact verenkleed)} - 36,2 \text{ HS (HS 0 = kooien, HS 1 = scharrel)}.$$

Uitgaande van een voer met een energiegehalte van 11,8 MJ/kg (2825 kcal/kg), heeft dit model de volgende betekenis voor de praktijk:

- Elke 100 gram stijging in hengewicht zorgt voor een hogere onderhoudsbehoefte die overeenkomt met 3,25 g voer per dag;
- Elke graad daling in omgevingstemperatuur vraagt 0,7 g extra voer per dag;
- Elke gram stijging in dagelijkse groei vraagt 2,3 g extra voer per dag;
- Elke gram stijging in eimassa vraagt 1 g extra voer per dag;
- Elke 10% afname in veerbedekking kost 0,8 g extra voer per dag;
- Los van alle andere kenmerken ligt het voerverbruik in scharrelsystemen 3 g/d lager dan bij kooisystemen. Dit is mogelijk het gevolg van een ander gedragspatroon en minder stress bij de scharrelhennen.

## Literatuur

- Al-Saffar, A.A. & Rose, S.P. (2002) Ambient temperature and the egg laying characteristics of laying fowl. *World's Poultry Sci. Ass.*, **58**: 317-331.
- Balnave, D., Farrell, D.J. & Cumming, R.B. (1978) Minimum metabolizable energy requirement of laying hens. *Worlds Poultry Science Journal*, **34**: 149-154.
- Bentsen, H.B. (1983a) Genetic variation in feed efficiency of laying hens at constant body weight and egg production. 2. Sources of variation in feed consumption. *Acta Agriculturae Scandinavica*, **33**: 305-320.
- Bentsen, H.B. (1983b) Genetic variation in feed efficiency of laying hens at constant body weight and egg production. 1. Efficiency measured as a deviation between observed and expected feed consumption. *Acta Agriculturae Scandinavica*, **33**: 289-304.
- Bilcik, B. & Keeling, L.J. (1999) Changes in feather condition in relation to feather pecking and aggressive behaviour in laying hens. *Br. Poult. Sci.*, **40**: 444-451.
- Bolhuis, J.E., van den Brand, H., Staals, S.T.M., Zandstra, T., Alferink, S.J.J., Heetkamp, M.J.W. & Gerrits, W.J.J. (2008) Effects of fermentable starch and straw-enriched housing on energy partitioning of growing pigs. *Animal*, **2**: 1028-1036.
- Boshouwers, F.M.G. & Nicaise, E. (1985) Automatic gravimetric calorimeter with simultaneous recording of physical activity for poultry. *British Poultry Science*, **26**: 531-541.
- Charles, D.R. (1986) Temperature for broilers. *Worlds Poultry Science Journal*, **42**: 249-258.
- Chwalibog, A. (1992) Factorial estimation of energy requirement for egg production. *Poultry Science*, **71**: 509-515.
- Chwalibog, A. & Baldwin, R.L. (1995) Systems to predict the energy and protein-requirements of laying fowl. *Worlds Poultry Science Journal*, **51**: 187-196.
- Duncan, I.J.H. & Hughes, B.O. (1973) The effect of population size and density on feather pecking. *4th European Poultry Conference, London, 1972. 1973*, 629-634.
- EC (1999) Council Directive 1999/74/EC of 19 July 1999 laying down minimum standards for the protection of laying hens. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1999:203:0053:0057:EN:PDF>.
- Emmans, G.C. (1974) The effect of temperature on the performance of laying hens. In: *Energy requirements of poultry*. Eds.: T. R. Morris & B. M. Freeman. British Poultry Science Genstat 8 Committee (2002) Genstat 8 Reference Manual; Release 3. Clarendon Press, Oxford, UK. pgs.
- Heetkamp, M.J.W., Schrama, J.W., deJong, L., Swinkels, J., Schouten, W.G.P. & Bosch, M.W. (1995) Energy metabolism in young pigs as affected by mixing. *Journal of Animal Science*, **73**: 3562-3569.
- Herremans, M., Decuypere, E. & Siau, O. (1989) Effects of feather wear and temperature on prediction of food-intake and residual food-consumption. *British Poultry Science*, **30**: 15-22.
- International Organization for Standardization (1997) Animal feeding stuffs. Determination of nitrogen content and calculation of crude protein content. Kjeldahl method. ISO 5983. Int. Organ. Standardization, Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization (1998a) Animal feeding stuffs. Determination of moisture and other volatile matter content. ISO 6496. Int. Organ. Standardization, Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization (1998b) Animal feeding stuffs. Determination of gross calorific value. ISO 9831. Int. Organ. Standardization, Geneva, Switzerland.
- Ketelaars, E.H., Arets, A., Van der Hel, W., Wilbrink, A.J. & Verstegen, M.W.A. (1985) Effect of housing systems on the energy balance of laying hens. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, **33**: 35-43.
- Luiting, P. (1990) Genetic variation of energy partitioning in laying hens - causes of variation in residual feed consumption. *Worlds Poultry Science Journal*, **46**: 133-152.
- Macleod, M.G. & Jewitt, T.R. (1988) Maintenance energy requirements of laying hens: a comparison of measurements made by 2 methods based on indirect calorimetry. *British Poultry Science*, **29**: 63-74.
- Macleod, M.G., Jewitt, T.R. & Anderson, J.E.M. (1988) Energy expenditure and physical activity in domestic fowl kept on standard and interrupted lighting patterns. *British Poultry Science*, **29**: 231-244.
- NRC (1994) Nutrient requirements of poultry. *Ninth Revised Edition*. Washington DC. pgs.
- Peguri, A. & Coon, C. (1993) Effect of feather coverage and temperature on layer performance. *Poult Sci*, **72**: 1318-1329.

- Pesti, G.M., Thomson, E. & Farrell, D.J. (1990) Energy exchange of 2 breeds of hens in respiration chambers. *Poultry Science*, **69**: 98-104.
- Richards, S.A. (1977) Influence of loss of plumage on temperature regulation in laying hens. *Journal of Agricultural Science*, **89**: 393-398.
- Romijn, C. & Lokhorst, W. (1966) Heat regulation and energy metabolism in the domestic fowl. In: *Physiology of the domestic fowl*. Eds.: C. Horton-Smith & E. C. Amoroso. Oliver and Boyd 211-227.
- Roth, F.X. & Bohmer, B.M. (2008) Feeding strategies for laying hens in housing systems with open-air runs according to organic farming principles. *Archiv Fur Geflugelkunde*, **72**: 121-128.
- Sakomura, N. (2004) Modeling energy utilization in broiler breeders, laying hens and broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*, **Jan - Mar 2004**, **V6**: 1 - 11.
- Savory, C.J., Mann, J.S. & Macleod, M.G. (1999) Incidence of pecking damage in growing bantams in relation to food form, group size, stocking density, dietary tryptophan concentration and dietary protein source. *British Poultry Science*, **40**: 579-584.
- Sherwin, C.M., Richards, G.J. & Nicol, C.J. (2010) Comparison of the welfare of layer hens in 4 housing systems in the UK. *British Poultry Science*, **51**: 488-499.
- Van den Brand, H., Parmentier, H.K. & Kemp, B. (2004) Effects of housing system (outdoor vs. cages) and age of laying hens on egg characteristics. *Br Poult Sci*, **45**: 745-752.
- Van Es, A.J.H. (1979) Energy cost of protein deposition. *Protein deposition in animals*. Buttery, P.J and Lindsay, D.B. (Editors). Butterworths, London-Boston. 215 - 224 pgs.
- Van Kampen, M. & Romijn, C. (1970) Energy balance and heat regulation in the White Leghorn fowl. *Proceedings of the 5th Symposium on Energy Metabolism in Farm Animals, Vitznau, Switzerland, EAAP Publication No. 13*, pp. 213 - 216
- Verstegen, M.W.A., Van der Hel, W., Brandsma, H.A., Henken, A.M. & Bransen, A.M. (1987) The Wageningen respiration unit for animal production: a description of the equipment and its possibilities. In: *Energy metabolism in farm animals* (eds. MWA Verstegen and AM Henken). Martinus Nijhoff, Dordrecht, The Netherlands pp. 21-48.



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl) | [www.livestockresearch.wur.nl](http://www.livestockresearch.wur.nl)