8. Goed hoorkamp
september 1990

Rekenmodel van de energiebalans van leghennen (KIP)

Model for calculating the energy balance in laying hens (KIP)

Ir. C.M. Groenestein en
Ing. E.N.J. van Ouwerkerk

rapport 227
juni 1990
prijs *f* 14,50

IMAG Mansholtlaan 10-12, Wageningen, tel. 08370 - 94911

Voorwoord

Een aantal jaren geleden is vanuit voorlichting en praktijk de wens uitgesproken de kennis over klimaatbehoeften van landbouwhuisdieren te inventariseren. Dit om de in gebruik zijnde klimaatnormen voor stallen te kunnen actualiseren.
Het IMAG heeft reeds eerder een literatuuronderzoek uitgevoerd naar de factoren, die van invloed zijn op de energiebalans en op de thermoneutrale en comfortzone van varkens. Met de gevonden gegevens en enkele algemeen geldende fysische wetmatigheden is een computerprogramma opgesteld (Sterrenburg, P. en E.N.J. van Ouwerkerk 1986).
In een volgend stadium is het IMAG gevraagd een soortgelijk onderzoek te doen voor leghennen. Mede dankzij de door het Fonds voor Pluimveebelangen beschikbaar gestelde financiën, kon dit onderzoek worden uitgevoerd. De resultaten worden in dit rapport beschreven.
Het rekenmodel KIP berekent de warmte- en vochtproduktie van leghennen onder diverse omstandigheden. Het model kan de gewenste staltemperaturen voorspellen onder omstandigheden, waarin gedragsaanpassingen geen grote rol spelen. Wanneer die aanpassingen wel belangrijk zijn, zal nader onderzoek nodig zijn om het model te kunnen toepassen.
In de naaste toekomst zal in dat kader klimaat- en gedragsonderzoek worden uitgevoerd bij leghennen, gehuisvest in een volièresysteem.
Dit rapport is opgesteld door Ir. C.M. Groenestein en Ing. E.N.J. van Ouwerkerk.

Ir. A.A. Jongebreur
Directeur
INSTITUUT VOOR MECHANISATIE,
ARBEID EN GEBOUWEN

Samenvatting

Dit literatuuronderzoek dient om klimaatnormen voor leghennen onder verschillende omstandigheden te kunnen voorspellen. Er is een rekenmodel van de energiebalans ontwikkeld. De verschillende energiebalanstermen zijn door literatuuronderzoek gevalideerd.
Allereerst wordt uitleg gegeven over de mechanismen van de thermoregulatie, de warmteproduktie, warmteafgifte en de warmtebalans. Daarna volgt de modelbeschrijving. Wat de warmteproduktie betreft, lopen in de literatuur de waarden van het niveau van de onderhoudsbehoefte nogal uiteen. Er zijn veel factoren die hier invloed op hebben. Omstandigheden moeten daarom duidelijk aangegeven of ingevoerd kunnen worden. Het model gaat uit van een ad lib gevoerde actieve leghen. Gegevens over de produktiewarmte lopen minder uiteen en kunnen vrij nauwkeurig berekend worden. De eiproduktie neemt bij hogere temperaturen af.
Wat de warmteafgifte betreft, wordt onderscheid gemaakt tussen het sensibele en latente deel. Het latente deel (respiratoir en cutaan) is bepaald op basis van onderzoekgegevens. De sensibele warmteafgifte, waaronder straling, convectie en opwarming van voer en water worden gerekend, is daarentegen fysisch benaderd. Belangrijke factoren in deze benadering zijn isolatie door het verenpak, het effectieve lichaamsoppervlak, het temperatuurverschil tussen de warmte-uitwisselende oppervlakken en de luchtsnelheid.
Bij toetsing van het model blijkt de verandering van de voeropname per °C verandering van de omgevingstemperatuur te groot. De oorzaak hiervan is dat de effecten van het verenkleed en gedrag onvoldoende in het model zijn opgenomen, omdat dat materiaal onvoldoende in de literatuur behandeld werd. Door onderschatting van deze elementen, het verenkleed en gedrag als warmteregulerende factoren, wordt het vermogen van de hen om zijn warmte vast te houden onderschat. Het feit dat kippen gedragsmatig reageren op klimatologische omstandigheden kan gebruikt worden om subklimaten te creëren die gewenst gedrag bevorderen. Hierbij kan gedacht worden aan optimale omstandigheden voor de legnesten in een etagesysteem om grondeieren te voorkomen. Verder onderzoek is noodzakelijk voor een goede formulering van de klimatologische eisen die een leghen aan haar omgeving stelt.

Inhoud

Voorwoord 3

Samenvatting 4

Inhoud 5

1 *Inleiding* 6

2 *Theoretische achtergrond van de thermoregulatie* 7
2.1 Algemeen 7
2.2 Warmteproduktie 7
2.3 Warmteafgifte 7

3 *Modelbeschrijving* 11
3.1 Uitgangspositie van het model 11
3.2 Wamteproduktie 11
3.2.1 Onderhoudsbehoefte 11
3.2.2 Produktiewarmte 12
3.3 Warmteafgifte 14
3.3.1 Sensibel 14
3.3.1.1 Effectieve lichaamsoppervlakte 14
3.3.1.2 Temperatuurverschil 16
3.3.1.3 Opwarming voer en water 17
3.3.2 Latent 18

4 *Toetsing van het model* 19

5 *Discussie* 21

6 *Conclusie* 25

Summary 26

Literatuur 27

BIJLAGEN 31

1 *Inleiding*

Er is al veel onderzoek gedaan naar de warmte- en energiebalans van landbouwhuisdieren. Dit is van belang omdat men de dieren vaak wil huisvesten onder geconditioneerde omstandigheden. Kennis van optimale omstandigheden is belangrijk in verband met de bouw van stallen (isolatie, ventilatie) en met de extra hoeveelheid energie, die nodig is voor elke graad onder de optimale omgevingstemperatuur. Zodra namelijk de warmteregulatie, fysisch of chemisch, extra inspanning van het dier vraagt, heeft dit een verhoogde voedselbehoefte tot gevolg, die niet ten goede komt aan de produktie. Het thermische omgevingsgebied, waarbinnen de onderhoudsbehoefte niet verhoogd is, noemt men het thermoneutrale gebied (Van Es 1982). Binnen dit temperatuurtraject wordt efficiënter geproduceerd. Dit gegeven is economisch te interpreteren en, gezien de mestproblematiek, ook milieutechnisch. Behalve naar deze bedrijfskundige aspecten kan op dierniveau worden gekeken, waar in het thermoneutrale gebied de warmtebalans in evenwicht is zonder dat het dier daar moeite voor hoeft te doen.
De in de literatuur beschikbare gegevens omtrent het thermoneutrale gebied lopen nogal uiteen. Van Es e.a. (1973) vonden een onderste kritieke temperatuur van 10 °C, terwijl van Kampen (1979) uitkwam op een waarde tussen 22,3 en 27,5 °C. De meeste literatuur spreekt overigens bij legkippen van een erg smalle zone, of zelfs van een thermoneutraal punt (Romijn en Vreugdenhill 1969, O'Neill e.a. 1971, Nichelmann 1983, van Kampen 1987).
De bedoeling van dit onderzoek is, op basis van in de literatuur beschikbare gegevens, een klimaatmodel te ontwikkelen om deze fysiologisch optimale omgevingstemperatuur te berekenen. Dit houdt in dat een uitspraak wordt gedaan op dierniveau, die betrekking heeft op het microklimaat van de leghen. Allereerst wordt de theoretische achtergrond van het model uitgelegd. Daarna wordt beschreven hoe de verschillende warmteproduktie- en warmteafgiftegegevens in het model zijn opgenomen. De warmteproduktie is opgesplitst in onderhoudswarmte en produktiewarmte. Bij de warmteafgifte onderscheidt men aan de ene kant straling, convectie, conductie en het opwarmen van opgenomen voer en water, en aan de andere kant verdamping (sensibele vs. latente warmte). De opzet van het model is overeenkomstig die van BEZOVA, een model, dat de thermische behaaglijkheidszone van varkens berekent (Sterrenburg en van Ouwerkerk 1986). Het model kan als module worden gebruikt voor een stalklimaatprogramma, waarin de gegevens op dierniveau (microklimaat) en stalniveau (macroklimaat) worden gecombineerd en kan worden berekend bij welke temperatuur de interactie tussen het dier en zijn omgeving bedrijfskundig optimaal is.

2 *Theoretische achtergrond van de thermoregulatie*

2.1 Algemeen

Thermoregulatie in het algemeen houdt in, dat het dier bij hoge omgevingstemperaturen overtollige warmte probeert kwijt te raken. Bij lage temperaturen probeert het warmteverlies te beperken, of extra voer op te nemen. Deze regulatie vindt plaats via vasomotorische mechanismen, isolatie door verenpak, zweten, hijgen en gedrag. Als de temperatuurstress te groot wordt, is een fysische warmteregulatie niet voldoende om de lichaamstemperatuur constant te houden. Het dier gaat dan chemische warmteregulerende factoren in werking stellen, die metabolische effecten hebben. Zodra warmteregulatie extra inspanning vraagt, wordt de energiebehoefte verhoogd, hetgeen extra voer kost.

2.2 Warmteproduktie

Warmteproduktie is te berekenen m.b.v. de volgende formule:

$$Q = ME_m + (1 - k)*ME_p$$

Q = warmteproduktie, W
ME_m = onderhoudsbehoefte, W
ME_p = metaboliseerbare produktie-energie, W
k = produktie-efficiëntie

Onderhoudsbehoefte is gedefinieerd als de metaboliseerbare energie, die nodig is om de hoeveelheid lichaamsenergie constant te houden (Curtis 1983). Alle energie, besteed aan onderhoud, wordt warmte. Belangrijke factoren, die van invloed zijn op het onderhoud, zijn type kip, gewicht, omgevingstemperatuur, lichtregime, activiteit en (inefficiëntie van) produktie.
De produktiewarmte is het deel van de metaboliseerbare energie, dat „verspild" wordt bij de produktie. De produktie bij de legkip bestaat voor het grootste deel uit eieren; een klein deel kan toegeschreven worden aan groei. De inefficiëntie van produktie wordt weergegeven als 1-k.

2.3 Warmteafgifte

Warmte kan op twee manieren aan de omgeving worden afgegeven. Ten eerste als sensibele of voelbare warmte, ten tweede als latente of verdampingswarmte:

$$Q_{AF} = Q_S + Q_L$$

Q_{AF} = warmteafgifte, W
Q_S = sensibele warmte, W
Q_L = latente warmte, W

De sensibele warmte wordt bepaald door straling (radiatie), stroming (convectie), geleiding (conductie) en door het opwarmen van opgenomen voer en water (Sterrenburg en van Ouwerkerk 1986).

$$Q_S = Q_R + Q_{CV} + Q_{CD} + Q_{VW}$$

Q_R = stralingswarmte, W
Q_{CV} = convectiewarmte, W
Q_{CD} = conductiewarmte, W
Q_{VW} = warmte voor opwarmen voer en water, W

Op een stralend zwart lichaam is de wet van Stefan-Boltzmann van toepassing:

$$Q_R = \sigma * A * T^4$$

σ = de Stefan-Boltzmann constante, $5{,}67 * 10^{-8}$, W m^{-2} K^{-4}
A = effectief oppervlak, m^2
T = temperatuur van het stralende oppervlak, K

Wanneer sprake is van uitwisseling van straling tussen een dier en zijn omgeving en rekening gehouden wordt met de emissie, wordt de vergelijking als volgt herschreven:

$$Q_R = A * \epsilon * 4 * \sigma * T_a^3 * (T_s - T_a)$$

waarbij

$$\epsilon = (1/\epsilon_1 + 1/2\epsilon_2 - 1)^{-1} \text{ (Bird et al. 1960)}$$

ϵ = gecombineerde emissiefactor
ϵ_1, ϵ_2 = emissiefactoren van oppervlakken
T_a = omgevingstemperatuur, K
T_s = temperatuur van lichaamsoppervlak, K

De convectieve warmteafgifte wordt weergegeven door:

$$Q_{CV} = h_c * A * (T_s - T_a)$$

h_c = warmte-overdrachtscoëfficiënt voor convectie, W m^{-3} K^{-1}

De warmte-overdrachtscoëfficiënt is afhankelijk van de dimensie van het lichaam en van het dimensieloze getal van Nusselt:

$$h_c = Nu * k_c/d$$

Nu = getal van Nusselt
k_c = warmtegeleidingscoëfficiënt van droge lucht, W m^{-1} K^{-1}
d = karakteristieke dimensie van het lichaam, m

Wathes en Clark (1981) kwamen tot de conclusie dat het lichaam van een kip te karakteriseren was als een bol, de diameter is dan uit de oppervlakte te berekenen. Bij gedwongen convectie zijn de coëfficiënten afhankelijk van de luchtsnelheid. Voor bolvormige lichamen houdt dit in, dat het getal van Nusselt zich als volgt verhoudt tot het getal van Reynolds, een andere dimensieloze coëfficiënt (Monteith 1973):

$$Nu = 0{,}34 * Re^{0{,}6}$$

waarin:

$$Re = v * d/\nu$$

Re = getal van Reynolds
v = luchtsnelheid, m s^{-1}
ν = kinematische viscositeit van de lucht, m^2 s^{-1}

Voor het ongedwongen of natuurlijke deel van de convectie is de verhouding tussen het getal van Nusselt en die van Grashof van belang:

$$Nu = 2 + 0{,}54 * Gr^{0{,}25}$$

$$Gr = (a * g * d^3 * (T_s - T_a))/v^2$$

Gr = getal van Grashof
a = $1/(T_s + 273)$, K^{-1}: lineaire uitzettingscoëfficiënt van lucht
g = 9,8 m s^{-2}: zwaartekrachtversnelling

De natuurlijke convectie is dominant als $Gr/Re^2 \geqq 16$. Wanneer $Gr/Re^2 \leqq 0{,}1$ is gedwongen convectie dominant. In stalsituaties zijn beide vormen van convectie afzonderlijk onwaarschijnlijk. In het tussenliggende gebied, de doorsneesituatie, is sprake van beide vormen en voldoet de volgende relatie (Wathes and Clark 1981):

$$Nu = 2 + 0{,}79 * Re^{0{,}48} \text{ voor } 3 * 10^3 < Re < 3 * 10^4$$

Uit de gegevens van Van Kampen (1973) blijkt dat, wanneer kale delen als kam en lel apart worden beschouwd, de bol-karakteristieken niet meer voldoen. Van een bol met een diameter van 20 cm is de warmteoverdrachtscoëfficiënt voor convectie (h_c) 3 à 4 W m^{-2} K^{-1}, terwijl die voor de kam en de lel volgens de metingen van Van Kampen 10 maal groter kan zijn. De kam en de lel moeten beschouwd worden als platte vlakken met een diameter van 1 à 2 cm. De karakteristieke dimensie van een poot is een cilinder. Aangezien het getal van Nusselt voor de geldende Re en Gr nauwelijks verschillen van die van een plat vlak (Monteith 1973), kunnen de poten verrekend worden als kam en lel. Voor gedwongen convectie geldt:

$$Nu = 0{,}6 * Re^{0{,}50} \tag{1}$$

Voor vrije convectie geldt:

$$Nu = 0{,}5 * Gr^{0{,}25} \tag{2}$$

Voor de beschrijving van de gemengde situatie werd de benadering van Börner (1965) toegepast, waarbij Re of Gr gesubstitueerd wordt afhankelijk van de stalsituatie. Omdat in de stal gedwongen convectie van meer belang is dan vrije convectie (Clark e.a. 1975), zal Nusselt bepaald worden door Re en Re':

$$Nu = 0{,}6(Re + Re')^{0{,}50}$$

waarin Gr door gelijkstelling van (1) en (2) gesubstitueerd wordt door Re:

$$Re' = (0{,}5/0{,}6)^2 * Gr^{0{,}50}$$

Conductieve warmteafgifte naar de omgeving is bij pluimvee minimaal en kan buiten beschouwing worden gelaten (Wathes en Clark 1981, Hillman en Scott 1989).

De latente warmteafgifte wordt bepaald door ademhalingsverdamping (respiratoir) en huidverdamping (cutaan) (van Kampen 1973).

$$Q_L = Q_{RP} + Q_{CU}$$

Q_{RP} = respiratoire verdamping, W
Q_{CU} = cutane verdamping, W

Belangrijke factoren bij de warmteafgifte zijn: lichaamsoppervlakte (dus indirect lichaamsgewicht) van het dier, en het temperatuurverschil tussen lichaamsoppervlakte enerzijds en de omgeving anderzijds. Bij de sensibele warmteafgifte moet rekening worden gehouden met de luchtsnelheid, de isolatie van het dier (veren), het „huddling"-effect en ander gedrag. De latente warmteafgifte is bij hoge omgevingstemperaturen afhankelijk van de vochtigheid van de omgeving (Scheele e.a. 1987).

3 *Modelbeschrijving*

3.1 Uitgangspositie van het model

Voor de berekening van de optimale staltemperatuur wordt er vanuit gegaan dat bij leghennen sprake is van een thermoneutraal punt. De energetische behoefte van het dier wordt in het thermoneutrale punt onafhankelijk gesteld van de omgevingstemperatuur, een definitie die in de thermoneutrale zone geldt (Mount 1974). Dit geldt dus ook voor de warmteproduktie, die voortvloeit uit de onderhoudsbehoefte en de behoefte voor produktie. De warmteafgifte is in het model temperatuurafhankelijk. In het thermoneutrale punt is de warmtebalans in evenwicht. Door warmteproduktie gelijk te stellen aan warmteafgifte is de evenwichtstemperatuur te berekenen. De afwijking tussen warmteproduktie en warmteafgifte buiten de evenwichtstemperatuur wordt gecorrigeerd via verandering in de voeropname (van Es 1982). Een hogere energiebehoefte in het thermoneutrale punt leidt tot een verlaging van de evenwichtstemperatuur en visa versa.

3.2 Warmteproduktie

3.2.1 Onderhoudsbehoefte

De formule voor onderhoudsbehoefte is:

$$ME_m = aW^b$$

De metabolische factor b is voor volwassen dieren 0,75. De factor a, de hoeveelheid onderhoudsenergie per kg metaboolgewicht ($kJ/kg^{0,75} \cdot d$), is afhankelijk van het type kip, leeftijd, produktie, omgevingstemperatuur, ventilatie, huisvesting, voersysteem (ad lib of restrictie) en activiteit. Wenk en van Es (1976) vonden, dat door een toename van de activiteit t.g.v. 25% restrictie van voeren, het metabolisme 15% kon stijgen. Volgens DeShazer e.a. (1970) is er een energetisch verschil van 20 - 40% tussen zitten en staan, van Kampen (1976) vond een verschil van 10 - 25%; naarmate het staan langer duurde, werd het verschil kleiner. Boshouwers en Nicaise (1985) geven aan dat 25% van het onderhoud besteed kan zijn aan activiteit. Effecten van de L/D-cyclus op de onderhoudsbehoefte zijn indirect, via eiproduktie, activiteit en voeropname (Morris 1967).

Tabel 1: In de literatuur voorkomende waarden voor het onderhoudsniveau van leggende kippen.
Table 1: *Literature data for maintenance levels in laying hens*

Bron *Source*	a ($kJ/kg^{0,75} \cdot d$)	Bijzonderheden *Remarks*
Hoffmann en Schiemann, 1973	415	
Burlacu en Baltac, 1971	527	
Emmans, 1974	510	T = 22 °C, witte legkip 450 ± 73[a] ± σ_n - 1 *white layer*
Emmans, 1974	456	T = 22 °C, bruine legkip *brown layer*
Balnave, 1978	388	T = 22 °C
Byerly, 1979	435	
Poczopco, 1979	335	
DeShazer e.a., 1981	458	T = 22 °C
Chwalibog, 1982	355	
Ketelaars e.a., 1985	502 < a < 565	afhankelijk van leeftijd en huisvesting *depending on age and housing*

a = onderhoudsniveau ($kJ/kg^{0,75} \cdot d$), *maintenance level* T = omgevingstemperatuur (°C) *ambient temperature*

Voorgaande geeft aan dat veel verschillende schattingen van de factor a gemaakt kunnen worden. Bovenstaande tabel geeft een indruk van de verschillende waarden voor het onderhoudsniveau van leggende kippen. Bij berekeningen is het belangrijk, dat duidelijk aangegeven wordt welk type kip het is, wat de omstandigheden zijn en of er sprake is van een vastend en/of rustend dier. Voor het model is uitgegaan van een ad lib gevoerde actieve witte leghorn en wordt de volgende formule gebruikt:

$$ME_m = 450\ W^{0,75}$$

Emmans (1974) geeft correctiefactoren voor kiptype. Zwaardere kippen hebben een lagere onderhoudsbehoefte. Voor de bruine Leghorn is deze factor:

$$f = (140 - 2{,}0 * T) / (170 - 2{,}2 * T)$$

waarin T (°C) de omgevingstemperatuur is. Bij 0 °C is de factor 0,82, bij 40 °C 0,73. Een schatting is, dat het onderhoudsmetabolisme voor de zwaardere bruine kip gemiddeld 22% per $kg^{0,75}$ lager is dan voor de witte kip.

3.2.2 Produktiewarmte

Voor de berekening van de warmte die vrijkomt bij produktie wordt uitgegaan van de energieinhoud per gram produkt, NE_e en NE_g (J/g), en van de produktie-efficiënties k_e en k_g. De benodigde metabolische energie voor produktie is dan:

$$ME_p = (1/k_e * NE_e * e) + (1/k_g * NE_g * g)$$

e = eiproduktie, g d^{-1}
g = groei, g d^{-1}

De inefficiëntie van produktie, produktiewarmte, is weer te geven als:

$$Q_{prod} = (1 - k) * ME_p$$

waarin:

$$k = (e * k_e + |g| * k_g)/e + |g|)$$

De groei wordt absoluut aangegeven om behalve aanzet ook verlies in lichaamsgewicht te kunnen verrekenen, waarbij wordt aangenomen dat dat met een zelfde efficiëntie gebeurt. Als defaultwaarden zijn in het model verloop van groei en eiproduktie gedurende de legperiode van de witte en bruine Hisex opgenomen. De groeigegevens zijn verwerkt tot een Gompertz groeicurve (France and Thornley 1984):

$$W = W_0 * \exp(\mu_0 (1 - e^{-Dt})/D)$$

W = gewicht op leeftijd t, g
W_0 = gewicht op leeftijd t = 0, g
t = leeftijd, wkn
μ_0 en D zijn constanten

Het gewicht bij geboorte (W_0) is 40 (g). De constante μ_0 is voor beide kiptypen 0,58, D is resp. 1,57 en 1,47 voor de witte en de bruine Hisex. De R^2 is voor beide curven 0,9998.
In de meeste literatuur wordt, wat de eiproduktie betreft, geschreven over een temperatuurtraject, waarbinnen de eiproduktie constant is. De bovengrens van dit traject ligt volgens Davis e.a. (1973) op 35 °C. Marsden en Morris (1980) komen op 32 °C. Payne (1967) houdt rekening met de luchtvochtigheid: hij noemt als bovengrenzen 28 °C, 31 °C en 33C bij een RV van resp. 75%, 50% en 30%. Elaroussi (1987) meldt dat de eiproduktie constant is tussen 9 en 29 °C. Van Kampen stelt, dat deze slechts constant is tussen 10 en 25 °C; boven de 25 °C neemt het eigewicht 0,3 g/°C af; pas boven een temperatuur van 30 °C neemt het legpercentage af. Charles (1984) haalt polynomiale regressievergelijkingen van Marsden (1981) aan:

$$e_1 = 37{,}12 - 2{,}14 * T + 0{,}2335 * T^2 - 0{,}00522 * T^3$$

$$e_2 = 88{,}50 - 7{,}645 * T + 0{,}417 * T^2 - 0{,}00727 * T^3$$

e_1 = eiproduktie van een witte kip, g/dag
e_2 = eiproduktie van een bruine kip, g/dag
T = omgevingstemperatuur, °C

Differentiatie van de vergelijkingen geeft aan, dat de maximale eiproduktie voor witte kippen 48,10 en voor bruine kippen 44,8 gram per dag is bij resp. 24 en 23 °C, en dat hier geen sprake is van een zone, waarbinnen de eiproduktie onafhankelijk is van de omgevingstemperatuur. In het model is opgenomen dat eiproduktie constant is tussen 10 en 24 °C c.q. 23 °C en dat deze bij hogere temperaturen afneemt volgens de vergelijkingen van Marsden (1981). Deze verandering in eiproduktie is dan als volgt weer te geven:

$$\Delta e_1 = 48{,}10 - 37{,}12 + 2{,}14 * T - 0{,}2335 * T^2 + 0{,}00522 * T^3$$

$$\Delta e_2 = 44{,}80 - 88{,}50 + 7{,}645 * T - 0{,}417 * T^2 + 0{,}00727 * T^3$$

$$e = \Delta e + e_{his}$$

e = eiproduktie van Hisex, afhankelijk van leeftijd èn omgevingstemperatuur, g/dag
Δe = verandering in eiproduktie t.g.v. omgevingstemperatuur, g/dag
e_{his} = eiproduktie van Hisex, afhankelijk van leeftijd, g/dag

De eiproduktie van Hisex wordt weergegeven als functie van de leghen, afgeleid van de produktiegegevens van dit merk.

3.3 Warmteafgifte

3.3.1 Sensibel

3.3.1.1 Effectieve lichaamsoppervlakte

Zoals vermeld, is de lichaamsoppervlakte een belangrijke factor voor de warmteafgifte. Onder de effectieve lichaamsoppervlakte wordt verstaan het gedeelte van de lichaamsoppervlakte, dat in contact staat met de (koelere) omgeving. Hoe groter de effectieve oppervlakte is, hoe meer warmte kan worden afgegeven. Lichaamsoppervlakte wordt in eerste instantie bepaald door het gewicht. Daarom is behalve bij de warmteproduktie ook bij de warmteafgifte een groeimodel van belang. Mitchell (1930) vond bij legkippen met een gewicht tussen 109 en 2142 gram (inclusief kam en lel), het volgende verband tussen lichaamsgewicht en lichaamsoppervlakte:

$$A = 0{,}107 * W^{0{,}705}$$

waarbij A in m^2 en W in kg zijn weergegeven. Deze formule is gebaseerd op metingen aan een kaal geplukte kip. Om het effectieve lichaamsoppervlak te berekenen moet rekening worden gehouden met de dikte van het dons- of verendek, het percentage van het lichaam dat met dons c.q. veren bedekt is en de slijtage van het verenkleed. In het model is daartoe een veerscore opge-

Tabel 2: Karakteristieken van het verenkleed bij verschillende veerscores.
Table 2: *Plumage characteristics at various feather scores*

vs *fs*	R_f	Veermassa % *Mass of feathers*	Dikte verenkleed (cm) *Plumage thickness*
1	0,46	100	1,50
2	0,27	70	1,05
3	0,20	20	0,30
4	0,14	15	0,23
5	0,06	10	0,15
6	0	0	0

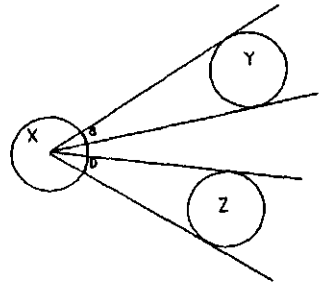
vs = veerscore, R_f = verenweerstand (m^2 K W^{-1})
fs = feather score, R_f = thermal resistance of the feathers (m^2 K W^{-1})

nomen met een waarde 1 als het verenkleed optimaal is en een waarde 6 als de kip kaal is (Emmans and Dunn 1973). De warmteweerstand, een maat voor de isolatie van het verenkleed, varieert in het model lineair met de veerscore. Met behulp van de gegevens over de veermassa van Wathes en Clark (1981) is te berekenen hoe dik het verenkleed is bij elke voorscore, er van uitgaande dat de maximale dikte van het verenkleed 1,5 cm is en het beveerde deel van het kippelichaam te karakteriseren is als een bol (Tabel 2). Zo kan worden berekend wat het lichaamsoppervlak is afhankelijk van lichaamsgewicht en conditie van het verenkleed.
Het dier kan de grootte van zijn effectieve oppervlakte zelf beïnvloeden via gedrag: poten en/of kop intrekken, vleugels spreiden en "huddling". Charles (1986) haalde in zijn literatuuroverzicht een onderzoek van Wathes aan (niet gepubliceerd, 1978) dat aantoont dat het op een hoop gaan zitten van kuikens de warmteafgifte 30–60% kan reduceren. Bedrijfsvoering die "huddling" beïnvloedt, beïnvloedt de voederconversie en het eindgewicht. Contact met soortgenoten wordt in het model als volgt beschreven:

$$A_c = (n - 1)/n * 0{,}15 * A$$

A_c = contactoppervlak, m^2
n = aantal dieren in de kooi

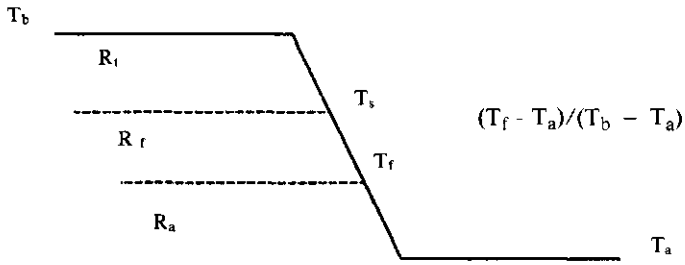
Er wordt aldus vanuit gegaan dat, onder thermoneutrale condities, 2 kippen 7,5% van hun lichaamsoppervlakte reduceren door contact, waardoor warmteafgifte via straling en convectie gereduceerd wordt.
Behalve contact heeft ook nabijheid van andere kippen effect op de sensibele warmteafgifte. In het model wordt aangenomen dat alle oppervlakken, behalve de kippenoppervlakken, staltemperatuur hebben. Het naar elkaar stralen van de kippen betekent minder warmteafgifte dan straling naar de rest van de omgeving. Deze variatie kan verwerkt worden in een zgn. "zichtfactor" (Wathes en Clark 1981). Zij definieerden de zichtfactor als dat deel van de totale lichaamshoek onderspannen aan het middelpunt van het lichaam door een bepaald oppervlak. De waarde van de zichtfactor ligt tussen 0 en 1:



Wat de straling betreft, is het effectief oppervlak van X verkleind door "zicht" van a en b op Y en Z.

3.3.1.2 Temperatuurverschil

Het temperatuurverschil waarover uitwisseling van warmte plaatsvindt, hangt af van het verschil tussen lichaamstemperatuur en omgevingstemperatuur. Hieronder volgt een schematische weergave van de warmte-overdracht:



$$(T_f - T_a)/(T_b - T_a) = R_a/(R_t + R_f + R_a)$$

T_b, T_s, T_f, T_a: lichaams-, huid-, veren- en omgevingstemperatuur (°C),
R_t, R_f, R_a: warmteoverdrachtsweerstanden van weefsel, veren en lucht (m^2 K W^{-1}).

Bij verschillende omgevingstemperaturen, variërend van −5 tot 40 °C, heeft van Kampen (1973) de temperaturen gemeten van de lel en de kam, alsmede de warmteafgifte via die oppervlakken. De volgende vergelijking is van toepassing:

$$Q = \Delta T/R$$

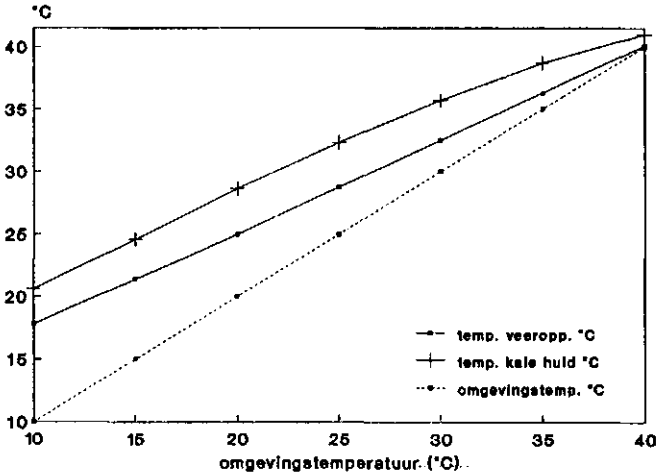
Q = warmteafgifte, W
ΔT = temperatuurverschil, K
R = warmteweerstand, m^2 K W^{-1}

Uit de warmteafgifte en het temperatuurverschil (gemeten waarden) is de warmteweerstand (R_t) voor de kam en de lel af te leiden. Door regressie toe te passen op de zo verkregen uitkomsten kan de warmteweerstand afhankelijk van omgevingstemperatuur worden weergegeven. Kam en lel worden in het model representatief gezien voor het niet beveerde deel van het lichaam.
Voor het beveerde deel van het weefsel geldt dat $R_{tf}/W^{0,35}$ constant is (Bruce en Clark 1979, Martzopoulou e.a. 1985). Wathes en Clark (1981) namen voor kippen met een gewicht van 2 kg op basis van gegevens van Montheith (1973) aan, dat R_{tf} = 0,08 (m^2 K W^{-1}). Dit betekent, dat voor het weefsel onder de veren geldt (Martzopoulou e.a. 1985):

$$R_{tf} = 0{,}06 * W^{0,35}$$

R_{tf} = weefselweerstand onder verenkleed, m^2 K W^{-1}
W = lichaamsgewicht, kg

Met behulp van de door Wathes en Clark (1981) bepaalde veerweerstanden (R_f) bij verschillende beveringen en de gegevens van Van Kampen (1973) over de warmteafgifte via het verenpak kunnen de temperaturen van kale huid en beveerd oppervlak afgeleid worden (Figuur 1). Het temperatuurverschil tussen warmteafgevend oppervlak en omgeving is bekend en dus de sensibele warmteafgifte per m^2.
Factoren, die invloed hebben op de warmteoverdrachtsgetallen, beïnvloeden de temperatuur van het warmteafgevende oppervlak. Dit betekent een invloed op de sensibele warmteafgifte. Facto-



Figuur 1: Temperatuur van het verenkleed en de kale huid als functie van de omgevingstemperatuur. Bron: rekenmodel KIP, overige omstandigheden: leeftijd 40 wkn., veerscore 2, luchtsnelheid 0,15 m/s, contactfactor 0, zichtfactor 0.

Figure 1: Temperature on plumage and bare skin as a function of ambient temperature. Source: KIP model. Further conditions: age 40 weeks, feather score 2, air velocity 0.15 m/s, contact factor 0, view factor 0.

ren, die de weefselweerstand (R_t) beïnvloeden, zijn met name de vasomotorische mechanismen. Tijdens koude-stress zal vasoconstrictie plaatsvinden (hoge R_t), tijdens warmte- stress vasodilatatie (lage R_t). Ook de isolerende werking van het verenkleed zal bepalend zijn voor de overdracht van warmte. Factoren, als de ontwikkeling van het verenkleed, pilo-erectie en slijtage aan het verenkleed, zullen de warmteafgifte via R_f beïnvloeden. In het weefsel onder de veren (R_{tf}) wordt geen belangrijk vasomotorisch mechanisme waargenomen (van Kampen 1974). De stelling dat $R_{tf}/W^{0,35}$ constant is, onderschrijft dat. Bepalend voor de warmteweerstand door de omringende luchtlaag (R_a) is luchtsnelheid en de lichaamsvorm (McArthur 1981).

3.3.1.3 Opwarming voer en water

Er is warmte nodig om het opgenomen voer en water op lichaamstemperatuur te brengen. Curtis (1983) stelt, dat 3 tot 4% van de totale warmteafgifte kan worden toegeschreven aan het opwarmen van ingesta. Van Kampen (1988) vond na toedienen van 50 ml water van 0 °C bij een omgevingstemperatuur van 35 °C een afname van de warmteproduktie van 15%. De op deze manier afgegeven warmte is normaal gesproken relatief klein, maar kan van belang zijn in extreme omstandigheden, zoals een hete omgeving, waar koud water drinken het dier helpt zijn warmte kwijt te raken (Harris e.a. 1975, van Kampen 1988). De warmtecapaciteit van water is 4,19 kJ kg^{-1} $°C^{-1}$, dat van voer ongeveer 1,68 (Curtis 1983). De wateropname van het dier is zowel afhankelijk van de omgevingstemperatuur als van de voeropname (89% ds):

$$wo = w * vo$$

wo = wateropname, cl
w = factor
vo = voeropname, g

Voor w geldt het volgende:

$$
\begin{array}{ll}
t_a \leq 5 & w = 1{,}5 + 0{,}2 * (t_a + 5) \\
5 < t_a \leq 15 & w = 1{,}7 + 0{,}03 * (t_a - 5) \\
15 < t_a \leq 25 & w = 2{,}0 + 0{,}05 * (t_a - 15) \\
t_a \geq 25 & w = 2{,}5 + 0{,}25 * (t_a - 25)
\end{array}
$$

t_a = omgevingstemperatuur, °C

3.3.2 Latent

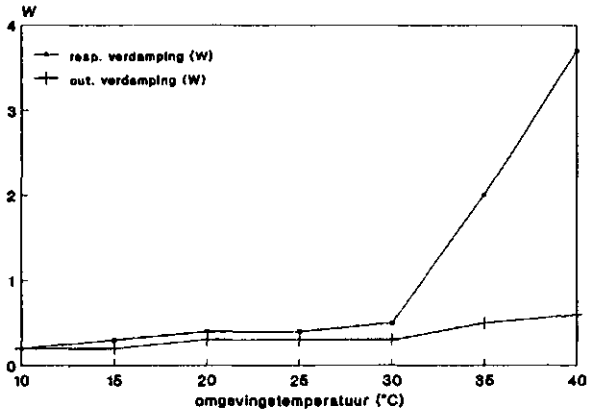
Studies over de invloed van de omgevingstemperatuur op de warmteafgifte geven aan, dat latente warmteafgifte pas boven 30 °C een belangrijke rol speelt en dan 80 tot 90% kan uitmaken van de totale warmteafgifte (van Kampen 1973, Farrel en Swain 1977, Chwalibog e.a. 1985). Van Kampen mat bij leghennen, dat de bijdrage van de cutane verdamping aan de totale verdamping afneemt van 41,1% bij een temperatuur van 30 °C tot 12,6% bij 40 °C. Dit geeft aan, dat toename van de warmteafgifte bij hoge temperaturen vooral op het conto van de ademhalingsverdamping komt. Voor de berekening van de respiratoire en de cutane verdamping is gebruik gemaakt van de metingen van Van Kampen (1973) (Figuur 2).

$$Q_{cut} = 5{,}06 * 10^{-2} + 5{,}43 * 10^{-3} * t_a$$

voor $10 < t_a \leq 30{,}2$ $\quad Q_{resp} = 7{,}23 * 10^{-2} + 8{,}02 * 10^{-3} * t_a$

voor $30{,}2 < t_a \leq 40$ $\quad Q_{resp} = 6{,}07 + 0{,}21 * t_a$

Q_{resp} = respiratoire verdampingswarmte, W/kg lichaamsgewicht
Q_{cut} = cutane verdampingswarmte, W/kg lichaamsgewicht
t_a = omgevingstemperatuur, °C.



Figuur 2: Respiratoire en cutane verdamping als functie van omgevingstemperatuur.
Bron: rekenmodel KIP, overige omstandigheden: leeftijd 40 wkn., veerscore 2, luchtsnelheid 0,15 m/s, contactfactor 0, zichtfactor 0.

Figure 2: Respiratory and cutaneous evaporation as a function of ambient temperature.
Source: KIP model. Further conditions: age: 40 weeks, feather score 2, air velocity 0.15 m/s, contact factor 0, view factor 0.

4 *Toetsing van het model*

Als toetsmateriaal is gebruik gemaakt van de onderzoeken van Davis e.a. (1973), Van Es e.a. (1973), Gerritzen en Janssen (1986) en Fontaine en De Munter (1980). Als onvoldoende gegevens uit de literatuur bekend waren, werden deze gegevens redelijkerwijs aangenomen. De veerscore en de zichtfactor werden geschat op basis van de omstandigheden waarin de leghen verkeerde. Tijdens het onderzoek van Davis e.a. waren de dieren individueel gehuisvest, het betroffen lichte hybride legkippen, 60 weken oud aan het begin van het zes weken durende experiment. De veerscore werd geschat op 1 en de zichtfactor op 0. Bij Van Es waren de hennen gehuisvest in een batterij met twee etages, acht kooien elk en vier dieren per kooi. Het waren witte leghorns of bruine hisex van 26 weken oud aan het begin van het experiment, dat vijf maanden duurde. Er werd een veerscore van 2 aangenomen, de zichtfactor werd op 0,4 geschat. De proef van Gerritzen en Janssen was eveneens in een batterijsysteem. Er was één etage, twee tegenover elkaar liggende rijen met twaalf kooien elk en vijf dieren per kooi. De naast elkaar gelegen kooien werden gescheiden door een uit polypropyleen bestaande tussenwand; de achterwand bestond uit een metalen luchtkoker. De witte leghorns waren 25 – 34 weken oud, de experimenten duurden 3 – 5 weken. De veerscore werd geschat op 2 en de zichtfactor op 0,32.
Bij de experimenten van Fontaine en De Munter werden negen halfzware leghennen (Warren S.S.L) gebruikt, gehuisvest op batterij in drie kooien van 40 x 45 cm^2. Er werden balansproeven uitgevoerd in een open kringloop respiratiekamer bij een temperatuur van ca. 22,4 °C. Tabel 3 geeft de ingevoerde variabelen aan, die niet uit de literatuur bleken.

Tabel 3: Aangenomen waarden voor onbekende parameters.
Table 3: Assumed values for unknown parameters

Parameter *Parameter*	Aangenomen waarde *Assumed value*
Emissiefactor stal *Emission factor, hen house*	0,95
Emissiefactor kip *Emission factor, bird*	0,99
Energetische efficiëntie van groei *Energetic efficiency of growth*	80 %
Energie per g groei *Energy per g of growth*	16,7 kJ
Energetische efficiëntie van eiproduktie *Energetic efficiency of egg production*	60 %
Energie per g ei *Energy per g of egg produced*	6,7 kJ
Maximale veerdikte *Maximum of thickness of plumage*	1,5 cm
Luchtsnelheid *Air velocity*	0,15 m/s
Percentage kale delen *Bare patches*	10 %
Lichaamstemperatuur *Body temperature*	41,5 °C

De dieren waren in alle experimenten geacclimatiseerd. Bij Davis duurde de acclimatisatie 2 à 3 weken, bij Van Es 10 dagen en bij Gerritzen en Janssen 7 dagen. Bij Fontaine en De Munter werd het basaalmetabolisme gemeten na 48 uur vasten.
De resultaten zijn weergegeven in de bijlagen. Er heeft geen statistische verwerking plaatsgevonden omdat het model nog onvolledig is (zie discussie) en de toetsingsaantallen te beperkt zijn. Er kan dus alleen een trend worden aangegeven.

5 *Discussie*

Payne (1967) en Emmans en Charles (1977) geven aan dat per °C stijging in omgevingstemperatuur de voeropname ongeveer 1,5% afneemt. De afname die het model berekent is groter (zie bijlage). In het onderstaande worden de factoren besproken, die in de literatuur niet of onvoldoende zijn belicht in het kader van de warmtehuishouding.

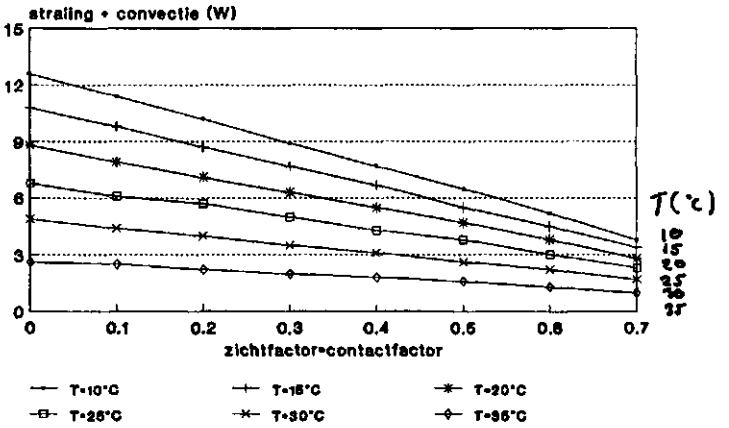
Acclimatisatie

Gemeten waarden zijn pas bruikbaar als ze gebaseerd zijn op gegevens van geacclimatiseerde kippen. Als dit niet het geval is, is er sprake van een stresssituatie. Het model tracht te voorspellen op de langere termijn. Dit criterium veroorzaakt, dat de meeste literatuur niet bruikbaar is. Davis e.a. (1972) onderzochten de adaptatie van energieverbuik van leghennen aan hoge en lage omgevingstemperaturen. Zij concludeerden, dat het bij koude één week en bij warmte drie weken duurde voor het dier zijn consumptie op een nieuw constant niveau had. Van Kampen (1973) vond, dat de acclimatisatie slechts 2 – 3 dagen duurde. Deze gegevens hoeven niet in tegenspraak met elkaar te zijn. Davis e.a. stelden dat de voeropname onvoldoende was om een evenwichtssituatie in stand te houden. Er moest lichaamsenergie worden verbruikt tot een nieuw evenwicht was bereikt. Uit het voorgaande zou kunnen worden geconcludeerd, dat bij een korte acclimatisatietijd, de fysische regulatie al aangepast is aan de nieuwe situatie (gemeten door Van Kampen), maar dat de chemische, metabolische aanpassing, die de warmteproduktie bepaalt,meer tijd vergt (gemeten door Davis e.a.). Tot die tijd is de warmtebalans niet in evenwicht.
Gemeten waarden, die in het model zijn gebruikt, betreffen temperatuurmetingen aan lichaamsoppervlakken en warmteafgiftegegevens (hfdst. 3.3.1). Deze zijn verkregen na drie etmalen acclimatisatie. De gegevens over verdampingswarmte (hfdst. 3.3.2) zijn verkregen na één etmaal acclimatiseren en 16 uur meten bij T = 10-35 °C en 6 uur bij T = 40 °C.

Gedrag

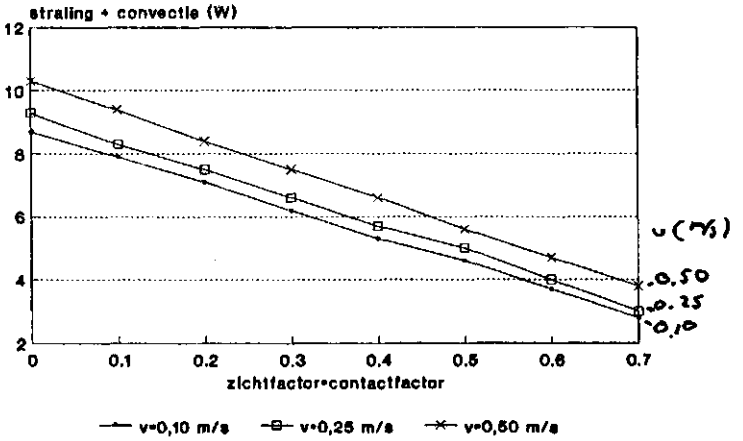
Gedrag is een warmteregulerende factor. Het beïnvloedt het effectieve lichaamsoppervlak, dat bepalend is voor de sensibele warmteafgifte.
De contactfactor en de zichtfactor, die in het model verwerkt zijn, zijn naar rede geschat. Figuur 3 en 4 geven inzicht in de variatie van de warmteafgifte via straling en convectie door zicht- en contactfactor bij verschillende omgevingstemperaturen en luchtsnelheden. Er is geen literatuur beschikbaar, die bruikbare waarden voor deze parameters bevat. Behalve constateren dat gedragsaanpassing voorkomt en hoe groot de invloed kan zijn, is het nodig te weten hoe vaak en onder welke omstandigheden dieren elkaars nabijheid zoeken. Om te weten, wat de klimaatbehoefte van leghennen is, dient men te weten hoe ze met de verschillende klimaatomstandigheden omgaan en hoe schadelijk of nuttig bepaald gedrag, opgeroepen door die klimaatomstandigheden, kan zijn. In de figuren 3 en 4 is te zien dat bij een verandering van de temperatuur of de luchtsnelheid, de veranderde warmteafgifte gecompenseerd kan worden via variatie van de zicht- en contactfactor: verandering van hun effectieve lichaamsoppervlak.
Een voorbeeld van warmteregulerend gedrag bij koude is het zgn. "huddling". Hierdoor ontstaat een hoge contactfactor en wordt de warmteafgifte aanzienlijk gereduceerd. Bij zeer hoge omgevingstemperaturen spreidt de hen de vleugels. Dit verhoogt de warmteafgifte, omdat, in

tegenstelling tot het gevolg van huddling, het effectieve lichaamsoppervlak vergroot wordt. In een etagesysteem kan een hen zich vrij bewegen. In deze situatie heeft gedrag niet alleen effect op de grootte van het warmteafgevend oppervlak, maar kan het dier ongewenste subklimaten in de stal vermijden. Het merendeel van de fysiologische metingen is verricht aan sociaal geïsoleerde vogels, in een thermisch homogene omgeving. Bij kuikens is vastgesteld dat, wanneer er



Figuur 3: Straling en convectie als functie van contact met andere kippen bij verschillende omgevingstemperaturen. Bron: rekenmodel KIP, overige omstandigheden: leeftijd 40 wkn., veerscore 2, luchtsnelheid 0,15 m/s.

Figure 3: Radiation and convection as a function of body contact with other birds at various ambient temperatures. Source: KIP model. Further conditions: age: 40 weeks, feather score 2, air velocity 0.15 m/s.



Figuur 4: Straling en convectie als functie van contact met andere kippen bij verschillende luchtsnelheden. Bron: rekenmodel KIP, overige omstandigheden: leeftijd 40 wkn., veerscore 2, omgevingstemperatuur 20 °C.

Figure 4: Radiation and convection as a function of body contact with other birds at various air velocity values. Source: KIP model. Further conditions: age: 40 weeks, feather score 2, ambient temperature 20 °C.

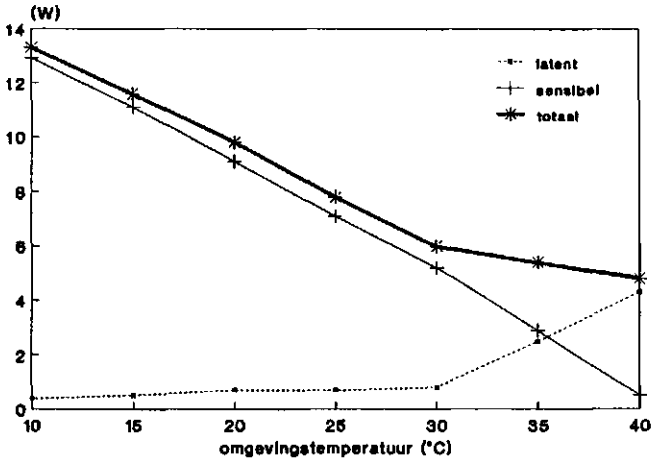
een keuzemogelijkheid is, gekozen zal worden voor het subklimaat dat fysisch en biologisch het meest gunstig is (Myhre 1978). Deze wetenschap is te gebruiken om, via het creëren van gunstige klimaatomstandigheden, gewenst gedrag te bevorderen. Hierbij kan worden gedacht aan het bevorderen van het gebruik van legnesten in een etagesysteem. Dit om "buiten-nest" eieren te voorkomen.

Verenkleed

Sterk bepalend voor de warmteafgifte is de conditie en dikte van het verenkleed. Het warmteverlies bij slecht beveerde dieren is twee- tot driemaal zo groot als bij goed beveerde dieren (O'Neill e.a. 1971, Richards 1977). Factoren, die slijtage van het verenkleed beïnvloeden, zijn: dierbezetting, huisvesting, management en leeftijd. Herremans (1987) toonde aan, dat de slijtage van het verenkleed exponentieel toeneemt in de loop van een legjaar en dat die slijtage bij een grotere bezettingsdichtheid en bij niet snavelkappen van de dieren groter is. Hij vond een lineair, negatief gecorreleerd verband tussen warmteproduktie enerzijds en verenmassa en omgevingstemperatuur anderzijds.
Het veergewicht per m^2 lichaamsoppervlakte is rechtevenredig met de warmteweerstand van de veren (R_f): als de veermassa met een factor 2 afneemt, neemt de weerstand met een factor 2 af (Wathes en Clark 1981). Als de verenmassa afneemt, verandert het effectieve lichaamsoppervlak. Hiertoe is in het model een corrigerende factor opgenomen, die er van uitgaat dat de dikte van het verenkleed evenredig is met het gewicht van de veren. De verhoogde warmteafgifte, t.g.v. slijtage van het verenkleed, wordt voor een deel gecompenseerd door verkleining van het effectieve lichaamsoppervlak. Deze factor houdt echter geen rekening met kale plekken en beschadigde veren. De slijtage wordt daardoor bij een heel dik verenpak (max. dikte 2,5 cm i.p.v. 1,5 cm zoals in het model is opgenomen) bij een veerscore van 3 (20% van max. veermassa) onterecht overgecompenseerd door de verkleining van het effectieve lichaamsoppervlak.
Behalve voor passieve regulatie door isolatie, dient het verenkleed ook om de warmteafgifte actief te regelen. Zoals eerder vermeld spreidt de hen de vleugels om bij hoge omgevingstemperatuur het effectieve lichaamsoppervlak te vergroten. Een ander regulerend mechanisme is de verenstand: bij koude kan het dier de veren opzetten om de isolatie te vergroten (pilo-erectie).

Begrenzingen van het model

De warmteproduktie is berekend uit onderhoud en produktiewarmte. De produktiewarmte is vrij betrouwbaar te schatten, maar voor het niveau van de onderhoudsbehoefte (a $kJ/kg^{0,75} \cdot d$) zijn veel uiteenlopende waarden bepaald. Er kunnen grote individuele verschillen zijn door verschillen in produktie en activiteit. Als de behoefte wordt verhoogd, dan wordt meer energie omgezet in warmte en zal de evenwichtstemperatuur dalen. Als een dier rustig is, zal de onderhoudsbehoefte lager zijn. Ter compensatie voor de niet geproduceerde warmte moet de omgevingstemperatuur dan omhoog om de warmtebalans in evenwicht te houden.
Over de temperatuurtrajecten buiten de waarden, waarbinnen metingen zijn verricht, kan geen uitspraak worden gedaan. De smalste zone bepaalt derhalve het geldigheidstraject van het model. Deze komt voor in het onderzoek van Van Kampen (1973) naar de cutane en respiratoire verdamping: 10-40 °C.
Figuur 5 geeft aan hoe het model de latente, de sensibele en de totale warmteafgifte, afhankelijk van de omgevingstemperatuur, berekent. Het effectieve lichaamsoppervlak is hier niet variabel. Contactfactor en zichtfactor zijn in het model bij 40 °C hetzelfde als bij 10 °C. Dit is in de praktijk een onwaarschijnlijke situatie, deze factoren zullen toenemen met afnemende omgevingstemperatuur, waardoor warmteafgifte minder zal toenemen. Manipulatie van de kip met vleugel-



Figuur 5: Sensibele, latente en totale warmteproduktie als functie van de omgevingstemperatuur. Bron: rekenmodel KIP, overige omstandigheden: leeftijd 40 wkn., veerscore 2, luchtsnelheid 0,15 m/s, contactfactor 0, zichtfactor 0.

Figure 5: Sensible, latent and total heat production as a function of ambient temperature. Source: KIP model. Further conditions: age: 40 weeks, feather score 2, air velocity 0.15 m/s, contact factor 0, view factor 0.

en verenstand versterken dit effect. Grafisch betekent dit een minder stijl oplopende lijn voor de sensibele en totale warmteafgifte.

6 *Conclusie*

Het klimaatmodel gaat uit van de warmtebalans van het individuele dier bij een berekend opnameniveau, afhankelijk van onderhoudsbehoefte en produktie. Het geldigheidstraject van de omgevingstemperatuur loopt van 10 tot 40 °C. De berekende verandering van de voeropname per °C temperatuurverandering is te groot.
Door de modelmatige aanpak werd duidelijk, welke aspecten niet of onvoldoende in de literatuur belicht zijn, waardoor het beeld van de warmtebalans niet volledig is. Dit wordt veroorzaakt door onderschatting van verenkleed en gedrag, als factoren die warmteafgifte kunnen beïnvloeden. De volgende parameters verdienen nader onderzoek: zichtfactor, contactfactor, gedrag en effect van verenkleed, toegespitst op de gewenste huisvestings- en managementsystemen. Hierbij kan worden gedacht aan batterij-, scharrel- of etagehuisvesting, waar de snavels al of niet worden gekapt.
Huidige klimaatsystemen stemmen de regeling af op het macroklimaat (stalniveau), zonder dat bekend is wat het microklimaat is (dierniveau). Daar bevindt zich namelijk geen sensor. Het model is een poging het microklimaat van de leghen te karakteriseren. Deze zou wel eens minder kunnen fluctueren dan op basis van metingen aan het macroklimaat wordt aangenomen, omdat geen rekening wordt gehouden met een gedragsreactie en met manipulaties met veren- en vleugelstand. Het feit, dat dieren gedragsmatig reageren op klimaatomstandigheden, kan worden gebruikt om subklimaten te creëren, die gedrag sturen.

Summary

Data from the literature were used in a mathematical computer model for the energy balance of laying hens to predict their climatic requirements under various conditions.

After a discussion of the mechanism of thermo-regulation (heat production, heat loss and heat balance) the model is described. As to heat production requirements for maintenance, the values given in the literature are rather varied. Many factors can affect this. Therefore, the conditions should be clearly described or be capable of being used as input variables in the model.

The model is based on an active laying hen, fed ad lib. The figures on heat required for production are not as varied as on those required for maintenance can be calculated fairly accurately. Egg production declines at higher ambient temperatures.

Heat loss is distinguished into sensible and latent components. The latent heat loss is divided into respiratory and cutaneous evaporation and is determined on the basis of experimental data. The sensible heat loss (radiation, convection and heat to warm the feed and water) was estimated from physical parameters. Major factors are insulation by the plumage, the effective body surface, the temperature gradient between heat-exchanging surfaces and the air velocity.

When the model was validated, it was found that it overestimates the change in feed intake per degree centigrade in ambient temperature. This was caused by the fact that the thermoregulating effects of plumage and behaviour were undervalued, as these aspects have not been given adequate attention in the literature. When these factors are undervalued the laying hen's own ability to retain heat is underestimated.

The ability of laying hens to respond to changes in their ambient conditions by means of behavioural adaptation, can be used to create microclimates which contibute to their adopting the desired behaviour. One application is to improve the use of nest-boxes in tiered wire floor systems, optimizing the climate conditions, by which floor eggs can be prevented. Further research is necessary to develop a model to predict the climatic requirements of the laying hen.

Literatuur

Balnave, D., D. J. Farrel and R. B. Cumming, 1978. The minimum metabolizable energy requirement of laying hens. World's Poult. Sci. J. 34 (3): 149-154.

Bird, R. B., W. E. Stewart and E. N. Lightfoot, 1960. Transport phenomena. John Wiley & Sons Inc., New York.

Börner, H., 1965. Über den Wärme und Stoffübergang an umspulten Einzelkörper bei Überlagerung von freier und erzwungener Strömung. V.D.I., Forschungsh. No. 512.

Boshouwers, F. M. G. and E. Nicaise, 1985. Automatic gravimetric calorimeter with simultaneous recording of physical activity for poultry. Br. Poult. Sci. 26: 531-541.

Bruce, J. M. and J. J. Clark, 1979. Models of heat production and critical temperature for growing pigs. Anim. Prod. 28: 353-369.

Burlacu, G. and M. Baltac, 1971. Efficiency of the utilization of the energy of food in laying hens. J. Agric. Sci. Camb. 77: 405-411.

Byerly, T. C., 1979. Prediction of the food intake of laying hens. In: Food intake regulation in poultry: 327-363. Ed. by K. N. Boorman and B. M. Freeman. Br. Poult. Sci. Edinburgh.

Charles, D. R., 1984. A model of egg production. Br. Poult. Sci. 25: 309- 321.

Charles, D. R., 1986. Temperature for broilers. W.P.S.A. Journal 42: 249- 258.

Chwalibog, A., 1982. Energy efficiency for egg production. In: Energy metabolism of farm animals. E.A.A.P. publ.: 270-273

Chwalibog, A., J. Pedersen and B.O. Eggum, 1985. Evaporative and sensible heat loss from chickens kept at different temperatures. Arch. Geflügelk. 49 (2): 50-54.

Clark, J. A., D. R. Charles, C. M. Wathes and J. V. Arrow, 1975. Heat transfer from housed poultry, its implications for environmental control. World's Poult. Sci. J. 31: 312.

Curtis, S. E., 1983. Environmental management in agriculture. The Iowa State University Press, Ames, Iowa 50010.

Davis, R. H., O. E. M. Hassan and A. H. Sykes, 1972. The adaptation of energy utilization in the laying hen to warm and cool ambient temperatures. J. Agric. Sci. Camb. 79: 363-369.

Davis, R. H., O. E. M. Hassan and A. H. Sykes, 1973. Energy utilization in the laying hen in relation to ambient temperature. J. Agric. Sci. 81: 173-177

Deshazer, J. A., K. A. Jordan and C. W. Suggs 1970. Effect of acclimation on partitioning of heat loss by the laying hen. Trans. A.S.A.E. 13: 82- 84.

Deshazer, J. A., T. J. Greninger and E. W. Gleaves, 1981. Simulation model of poultry energetics for developing environmental recommendations. C. I. G. R. Sect. II Seminar, Aberdeen.

Elaroussi, M. A., 1987. Poultry. In: World Animal Science, B5, Bioclimatology and the adaptation of livestock: 201-219. Ed by H. D. Johnson, Elsevier Science Publ. B.V.

Emmans, G. C., 1974. The effects of temperature on the performance of laying hens. In: Energy requirements of poultry: 79-90. Ed. by T. R. Morris and B. M. Freeman. Br. Poult. Sci. Ltd, Edinburgh.

Emmans, G. C. and D. R. Charles, 1977. Climatic environment and poultry feeding in practice. In: Nutrition and the climatic environment: 31-49. Ed. by W. Haresign, H. Swan, D. Lewis, Butterworths, London.

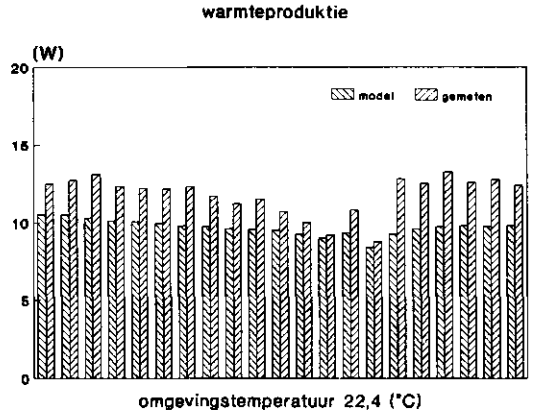
Emmans, G. C. and P. Dunn, 1973. Temperature and ventilation rates for laying fowls: supplementary report on feathering and combs. Gleadthorpe Exp. Husb. Farm Rep., F.A.C. 163, London, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.

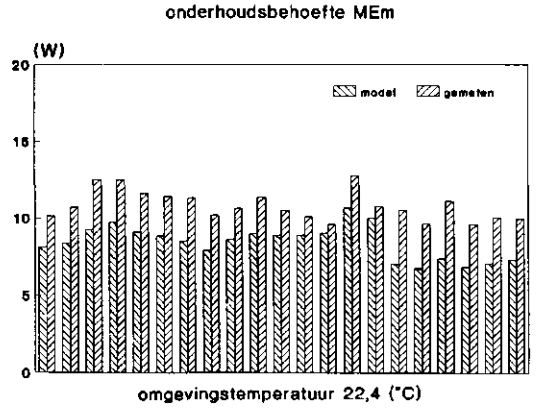
Es, A. J. H. van, 1981. Poultry production in relation to energy utilization and environment. In: World poultry production, where and how: 41-53, ed by C. W. Scheele and C. H. Veerkamp, Spelderholt, Beekbergen.

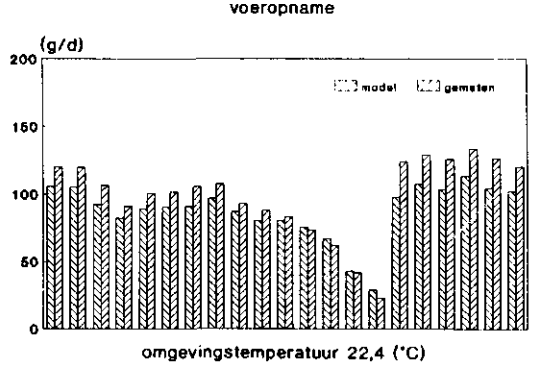
Es, A. J. H. van, 1982. Warmtehuishouding. Collegedictaat Landbouwuniversiteit, Wageningen.

Es, A. J. H. van, D. van Aggelen, H. J. Nijkamp, J. E. Vogt and C. W. Scheele, 1973. Thermoneutral zone of laying hens kept in batteries. Zeit- schrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde 32: 121-129.

Bijlage E
Appendix E







Resultaten van toetsing van het model aan metingen van Fontaine en De Munter (1980) bij Warren SSL hennen. Overige omstandigheden: veerscore 2, luchtsnelheid 0,15 m/s, 3 dieren per kooi, contactfactor 0,1, zichtfactor 0,2.
Results of the validation of the model with measurements from Fontaine & De Munter (1980) in Warren SSL layers. Further conditions: feather score 2, air velocity 0.15 m/s, three birds in cage, contact factor 0.1, view factor 0.2.