

## Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [ 1 ] *Kassay, L.*: Nützlichkeitsfaktor der Landmaschinen und Theorie des damit verbundenen natürlichen Maschinensystems. Diss. Akademie der Wissenschaften, Budapest 1976.
- [ 2 ] ● *Stewens, S.S.*: Handbook of experimental psychology. New York: J. Wiley 1961.
- [ 3 ] ● *Torgerson, W.S.*: Theory and methods of scaling. New York: J. Wiley 1967.
- [ 4 ] *Kindler, J. u. O. Papp*: Vergleichende Methoden von kompletten Systemen. KIPA-Verfahren. Manuskript Techn. Univ. Budapest 1975.
- [ 5 ] ● *Novacky, T.*: Examples of technical and economic analysis of mechanized processes in various agrotechnical conditions. New York: E.G.B. 1974.
- [ 6 ] ● *Selivanow, A.I.*: Verlauf der Verschleißkurve von Maschinen. Moskau: Mechanischer und Landwirtschaftlicher Verlag, 1960.
- [ 7 ] *Eichler, Chr.*: Methodische Grundlagen für die Entwicklung von Landmaschinen und Anlagen. Univ. Rostock 1973.
- [ 8 ] ● *Kesselring, F.*: Bewertung von Konstruktionen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1966.
- [ 9 ] *Novacky, T.*: Energetische Methode der Optimierung der technischen Prozesse der Mechanisierung der Landwirtschaft. EMG Warschau 1971.
- [ 10 ] *Baraldi, G. u. G. Capelli*: Elementi tecnici per il calcolo del costo di esercizio delle macchine agricole. Istituto di Meccanica Agraria dell' Università di Bologna, 1973.
- [ 11 ] *Jován, D. u. L. Csukás*: Neue Meßmethoden für die Prüfung von Mähreschern. Technisches Institut des Ministeriums der Landwirtschaft, Gödöllő, 1963.
- [ 12 ] *Jóri, I.*: Zusammenhänge der Zugkraftverwertung. Manuskript, Gödöllő, 1976.
- [ 13 ] ● *Jánossy, A., T. Muraközi u. G. Aradszky*: Biometrisches erläuterndes Wörterbuch. Budapest: Landwirtschaftlicher Verlag 1966.
- [ 14 ] ● *Jánossy, F.*: Über die Trendlinie der wirtschaftlichen Entwicklung. Budapest: Verlag Magvető, 1975.
- [ 15 ] *Kassay, L.*: Methode für die Bestimmung der Nützlichkeit der Landmaschinen, AKI. Manuskript, Budapest 1977.

# Ein Rechenmodell für die Wärmeenergiebilanz von Ställen

Von Gerhard Englert, Freising-Weißenstephan\*)

*Aus den Arbeiten des Sonderforschungsbereiches 141 "Produktionstechniken der Rinderhaltung"*

DK 631.22:699.86:551.524

Optimale Stalltemperaturen im Winter lassen sich außer durch Heizeinrichtungen durch verschiedene bauliche und betriebliche Maßnahmen erreichen. Für eine Beurteilung, welche Kombination dieser Maßnahmen mit den geringsten Jahreskosten verbunden ist, reicht eine Berechnung der Wärmeleistungsbilanz auf der Grundlage von DIN 18910 nicht aus. Eine solche Berechnung muß vielmehr darauf abzielen, eine Bilanz der insgesamt unterhalb einer bestimmten Grenztemperatur abgeführten Wärmeenergie zu erstellen, wozu der Jahresgang der Außenlufttemperatur heranzuziehen ist. Es wird hier ein Rechenmodell angegeben und mit diesem Modell an Beispielen gezeigt, welche Energieeinsparungen mit verschiedenen Maßnahmen möglich sind.

## 1. Einleitung

Die stark gestiegenen Energiekosten haben dazu geführt, daß ein Beheizen von Ställen nur in Sonderfällen in Frage kommt und daß die Wärmedämmung von Ställen in den letzten Jahren zunehmende Bedeutung gewonnen hat. Doch gibt es eine Reihe von weiteren baulichen und betrieblichen Maßnahmen, wie z.B. die Rückgewinnung von Lüftungs- und Transmissionswärme, die Verbesse-

rung der Luftführung oder dichtere Stallbelegung, mit denen die Wärmebilanz des Stalles beeinflußt werden kann. Wie die Wärmedämmung erfordern auch die anderen baulichen Veränderungen Investitionen und es stellt sich die Frage, welches Ausmaß die einzelnen denkbaren Maßnahmen haben sollten, damit insgesamt mit möglichst geringen Investitionen eine möglichst große Verbesserung der Wärmebilanz erreicht wird. Diese Fragestellung führt zu der Aufgabe einer wirtschaftlichen Optimierung der Wärmebilanz.

Wirtschaftliche Optimierungen werden i.a. auf der Basis von mittleren Jahreskosten für die Investitionen und für die verbleibenden Energiekosten durchgeführt. Die in DIN 18910 [1] festgelegte Berechnung des Wärmehaushaltes von Ställen erfolgt aber in Form einer Bilanzierung von Wärmeleistungen für bestimmte Rechenwerte der Außentemperatur, während als Grundlage der wirtschaftlichen Optimierung ein Rechenverfahren anzuwenden wäre, das eine Wärmeenergiebilanz für die Gesamtheit der in der kalten Jahreszeit auftretenden Temperaturen angibt. In der vorliegenden Arbeit wird ein entsprechendes Rechenmodell vorgeschlagen. Es dient dann dazu, die Beeinflussung der Energiebilanz durch Änderung einzelner Einflußgrößen zu untersuchen.

## 2. Wärmeleistungsbilanz eines Stalles

Die detaillierte Darstellung der Wärmeleistungs-Bilanzgleichung eines Stalles nach DIN 18910 kann deutlich machen, mit welchen systemeigenen Einflußgrößen sich die Leistungsbilanz beeinflussen läßt. Die Bilanzgleichung lautet allgemein:

$$\Delta \dot{Q} = \dot{Q}_{Ti} - \dot{Q}_B - \dot{Q}_L = (\dot{Q}_{Ti} - \dot{Q}_L) - \dot{Q}_B \quad (1)$$

\*) Dipl.-Phys. Dr. G. Englert beschäftigt sich an der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik vorwiegend mit Fragen der Baustoffprüfung und Bauphysik.

mit  
 $\Delta \dot{Q}$  Wärmeleistungsdifferenz  
 $\dot{Q}_{Ti}$  von den Tieren erzeugte Wärmeleistung  
 $\dot{Q}_B$  über die Stallhülle abfließende Transmissions-Wärmeleistung  
 $\dot{Q}_L$  über die Lüftung abfließende Lüftungs-Wärmeleistung.

Für den in der Praxis i.a. anzutreffenden Fall, daß verschiedene Tierarten bzw. -altersgruppen (Summationsindex j) in einem Stall untergebracht werden und dementsprechend verschiedene Werte für die Wärmeleistung, den Wasserdampf- bzw. Kohlendioxidanfall sowie für die Stalltemperatur und -feuchte zu berücksichtigen sind, gilt:

$$\Delta \dot{Q}(\vartheta_a, \varphi_a) = \sum_j \left\{ n_j q_{Ti,j} - L \dot{V}_{ab,j} [h_i(\vartheta_i, \varphi_i) - \frac{\rho_i(\vartheta_i, \varphi_i)}{\rho_a(\vartheta_a, \varphi_a)} h_a(\vartheta_a, \varphi_a)] \right\} - (\vartheta_i - \vartheta_a) \sum_l k_l A_l \quad (2)$$

j = 1, 2, ..., m<sub>1</sub>  
 l = 1, 2, ..., m<sub>2</sub>

mit

$\vartheta_a, \varphi_a$  Temperatur (in °C) und relative Luftfeuchte (in %) im Außenraum  
 $\vartheta_i, \varphi_i$  Temperatur (in °C) und relative Luftfeuchte (in %) im Stall; bei Belegung des Stalles mit verschiedenen Tierarten werden sich die Rechenwerte für diese Einflußgrößen i.a. nach der Tierart mit größter Belegzahl richten.

$n_j$  Zahl der Tiere von der Art bzw. Altersgruppe j von einem Tier erzeugte Wärmeleistung (in W)  
 $q_{Ti,j}$  Lüftungswärmefaktor; mit diesem Faktor soll in Gl. (2) Berücksichtigung finden, daß die Lüftungswärme zurückgewonnen werden kann (Fall 1) oder daß die Abluftraten in der Praxis von den nach DIN 18910 berechneten Werten abweichen (Fall 2).

Fall 1:  
 $L = 1 - (\dot{Q}_{LR} / \dot{Q}_L)$

$\dot{Q}_{LR}$  durch Wärmetauscher zurückgewonnene Lüftungswärme (in W)

Fall 2:  
 $L = \dot{V}_{ab}^P / \dot{V}_{ab}^{DIN}$

$\dot{V}_{ab}^P$  Abluftrate in der Praxis

$\dot{V}_{ab}^{DIN}$  Abluftrate nach DIN 18910

$\dot{V}_{ab,j}$  Abluftrate (in m<sup>3</sup>/h); nach DIN 18910 wird mit der Abluftrate nach dem Wasserdampfhaushalt

$\dot{V}_{ab,j}^{H_2O}$  gerechnet, solange

$$\dot{V}_{ab,j}^{Sommer} \geq \dot{V}_{ab,j}^{H_2O} \geq \dot{V}_{ab,j}^{CO_2}$$

Sonst gilt:

$$\dot{V}_{ab,j} = \dot{V}_{ab,j}^{CO_2} \quad \text{für} \quad \dot{V}_{ab,j}^{H_2O} < \dot{V}_{ab,j}^{CO_2}$$

$$\dot{V}_{ab,j} = \dot{V}_{ab,j}^{Sommer} \quad \text{für} \quad \dot{V}_{ab,j}^{H_2O} > \dot{V}_{ab,j}^{Sommer}$$

Wasserdampfhaushalt

$$\dot{V}_{ab,j}^{H_2O} = \frac{n_j w_{Ti,j}}{x_i(\vartheta_i, \varphi_i) - x_a(\vartheta_a, \varphi_a)}$$

$w_{Ti,j}$  Wasserdampfanfall je Tier (in g/h)

$x_{i(a)}$  Wasserdampfgehalt (in g/m<sup>3</sup>) der Stallluft (i) bzw. Außenraumluft (a)

Kohlendioxidhaushalt

$$\dot{V}_{ab,j}^{CO_2} = \frac{n_j k_{Ti,j}}{3,2}$$

$k_{Ti,j}$  Kohlendioxidanfall je Tier (in l/h)

Sommerablufrate

$$\dot{V}_{ab,j}^{Sommer} = \frac{n_j q_{Ti,j}}{0,9 \Delta T}$$

$\Delta T$  Zielgröße für den Temperaturunterschied zwischen Stall- und Außenraum (in K)

für Rinderställe:

$\Delta T = 3$  K Sommertemperaturzone  $\geq 26$  °C  
 $= 4$  K Sommertemperaturzone  $< 26$  °C

$h_{i(a)}, \rho_{i(a)}$  spezifische Enthalpie (in Wh/m<sup>3</sup>) und Dichte (in kg/m<sup>3</sup>) der Stallluft (i) bzw. Außenluft (a)  
 $k_l, A_l$  k-Wert (in W/m<sup>2</sup>K) und Fläche (in m<sup>2</sup>) des Bauelementes l der Stallhülle.

Mit dem in DIN 18910 festgelegten Rechenwert  $\varphi_a = 100$  % ist die Bilanzdifferenz  $\Delta \dot{Q}$  eine Funktion allein der Außentemperatur  $\vartheta_a$ .

In welchem Maße sich die Wärmeleistungsbilanz durch die einzelnen Größen beeinflussen läßt, wurde früher dargestellt [2]. Es sind danach vor allem interessant:

1. Rückgewinnung von Lüftungswärme bzw. Veränderung der Abluftraten (Größe L)
2. Wärmedämmung und Rückgewinnung von Transmissionswärme (Größe k).

### 3. Rechenmodell für die Wärmeenergiebilanz von Ställen

#### 3.1 Rechenverfahren

Um von der Wärmeleistungsbilanz zu einer Bilanz der Wärmeenergien zu kommen, muß die Wärmeleistung mit den Zeitspannen multipliziert werden, in denen sie benötigt wird bzw., bei positiver Bilanz, zur Verfügung steht. Bei dem System Stall ist bei konstanter Innentemperatur die Wärmeleistungsbilanz ab einer bestimmten Außentemperatur negativ. Das entstehende Leistungsdefizit wird mit zunehmender Außentemperatur immer größer. Multipliziert man nun das bei einer bestimmten Außentemperatur gegebene Leistungsdefizit mit der zeitlichen Häufigkeit (Zahl der Stunden pro Jahr), in der diese Außentemperatur herrscht, so erhält man die Wärmeenergie, die aufzubringen ist, um in diesen Stunden die Energiebilanz auszugleichen. Die Summierung dieses Produktes über alle während eines Jahres herrschenden Temperaturen unterhalb der Grenztemperatur mit ausgeglichener Bilanz führt dann zu der gesamten Wärmeenergie, die innerhalb eines Jahres aufgewendet werden muß, um die Wärmeenergiebilanz ausgeglichen zu halten.

Man erhält also ein Rechenmodell für die Wärmeenergiebilanz eines Stalles, wenn man die Wärmeleistungsbilanz mit einer Häufigkeitsverteilung der Außentemperatur in folgender Weise verknüpft:

$$\Delta E = \frac{1}{2} \sum_n t(\vartheta_{a,n}) [\Delta \dot{Q}(\vartheta_{a,n}) + \Delta \dot{Q}(\vartheta_{a,n+1})] \quad (3)$$

n = 0, 1, ..., m

$$\vartheta_{a,n+1} = \vartheta_{a,n} + \Delta \vartheta$$

$\Delta \vartheta$  Klassenbreite der Häufigkeitsverteilung  
 $t(\vartheta_{a,n})$  Zahl der Stunden im Jahr mit einer Außentemperatur im Bereich  $\vartheta_{a,n} \leq \vartheta_a \leq \vartheta_{a,n+1}$

$\vartheta_{a,n=0}$  untere Grenztemperatur mit  $t(\vartheta_{a,0}) = 0$   
 $\vartheta_{a,n=m}$  obere Grenztemperatur mit  $\Delta \dot{Q}(\vartheta_{a,m+1}) + \Delta \dot{Q}(\vartheta_{a,m+2}) = 0$

$\Delta E$  Wärmeenergiedifferenz pro Jahr (in kWh/a).

Dieses Rechenverfahren hat Modellcharakter, weil vorausgesetzt wird, daß sich die als Transmissions- und Lüftungswärme abfließenden Wärmemengen ohne zeitliche Verzögerungen mit der Außentemperatur ändern.

Diese Annahme ist für die Lüftungswärme sicherlich gerechtfertigt. Bei der Transmissionswärme dagegen wird sich die Wärmekapazität der Baustoffe in der Stallhülle bemerkbar machen. Der Energiestrom erfährt eine, je nach Ausführung der Stallhülle unterschiedlich große, Dämpfung und Phasenverschiebung. Es wird eine wichtige Aufgabe der nächsten Zeit sein, dieses Trägheitsverhalten theoretisch und experimentell zu überprüfen, um mit dem Rechenmodell praxisrelevante Ergebnisse sicherstellen zu können. Von *Schüle* [3] an Massivwänden durchgeführte Messungen des Wärmeflusses im stationären und instationären Zustand lassen allerdings schon jetzt erkennen, daß sich die Trägheitseffekte ausmitteln.

### 3.2 Häufigkeitsverteilung der Außentemperatur

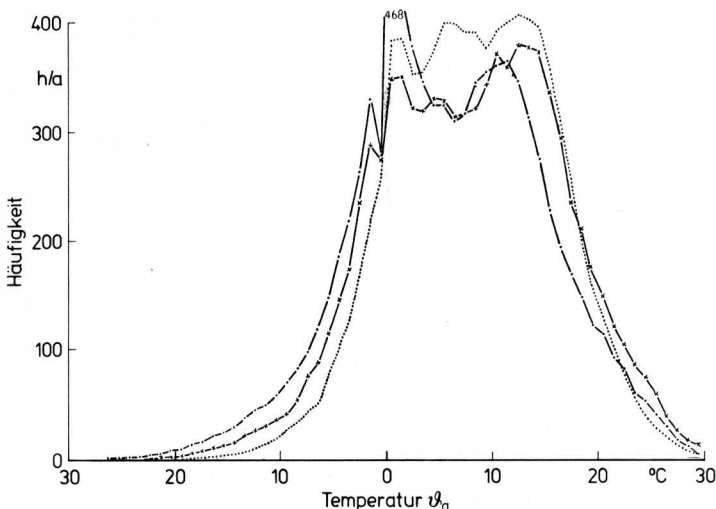
Da bei der Planung eines Stalles immer eine mehrjährige Nutzung vorausgesetzt wird, ist für ein praxisgerechtes Rechenmodell eine aus möglichst langjährigen Temperaturmessungen gewonnene Häufigkeitsverteilung der Außentemperatur erforderlich. Auf die Notwendigkeit und Möglichkeiten derartiger Verteilungen wiesen zuletzt *Janssen u. Schoedder* [4] hin. Die für die vorliegende Arbeit verwendeten Häufigkeitsverteilungen für die Orte Oberstdorf, München und Hamburg wurden vom Deutschen Wetterdienst aus Temperaturmessungen im Zeitraum 1951–70 errechnet und lassen sich in ihrer Klasseneinteilung folgendermaßen beschreiben:

$$\begin{aligned} \Delta\vartheta &= 1 \text{ }^\circ\text{C} \\ \vartheta_{a,n} &= 0, 1, 2 \text{ }^\circ\text{C}, \dots & t(\vartheta_{a,n}) &= t(\vartheta_{a,n} \leq \vartheta_a < \vartheta_{a,n+1}) \\ \vartheta_{a,n} &= -1 \text{ }^\circ\text{C} & t(\vartheta_{a,n} = -1 \text{ }^\circ\text{C}) &= t(-1 \text{ }^\circ\text{C} < \vartheta_a < 0 \text{ }^\circ\text{C}) \\ \vartheta_{a,n} &= -2, -3, -4 \text{ }^\circ\text{C}, \dots & t(\vartheta_{a,n}) &= t(\vartheta_{a,n} < \vartheta_a \leq \vartheta_{a,n+1}) \end{aligned}$$

Klassenmitte:  $\pm 0,5, \pm 1,5, \pm 2,5 \text{ }^\circ\text{C}, \dots$

Bei der Darstellung dieser Verteilungen in **Bild 1** wurden der Übersichtlichkeit wegen die  $t(\vartheta_{a,n})$ -Werte bei den Klassenmitten miteinander verbunden. Die so erhaltenen Kurven verdeutlichen, daß sich die ausgewählten Orte u.a. in der Zahl der Stunden mit niedrigen Temperaturen deutlich unterscheiden (s. auch [4]).

Diese Unterschiede zwischen den Häufigkeitsverteilungen unterstreichen den Modellcharakter des Rechenverfahrens. Derartige Verteilungen liegen zwar für ausgewählte Orte und damit stellvertretend für Klimagebiete vor, nicht aber für jeden im Einzelfall gegebenen Ort. Auf der anderen Seite ist zu bedenken, daß auch die Rechenwerte für die schon in die Leistungsbilanz eingehenden Größen, wie z.B. für die Stalltemperatur und die Abluftraten, die Praxisverhältnisse nur angenähert wiedergeben.



**Bild 1.** Häufigkeitsverteilungen der Außenlufttemperatur (Deutscher Wetterdienst).

— · — Oberstdorf; — x — München; · · · · Hamburg

### 3.3 EDV-Programm

Für das mit Gl. (3) formulierte Rechenverfahren liegt ein EDV-Programm vor<sup>1)</sup>, mit dem die Energiedefizite pro Temperaturstufe und die Summe dieser Defizite, beginnend bei einer Temperatur von  $-33 \text{ }^\circ\text{C}$  berechnet werden. Die Summierung endet bei der Temperaturstufe, für die sich eine positive Bilanz errechnet.

## 4. Rechenbeispiel: Beeinflussung der Wärmeenergiebilanz durch bauliche und betriebliche Maßnahmen

### 4.1 Rechenwerte, Ergebnisse

Um die Möglichkeiten des Rechenmodells zu veranschaulichen, wurde für einen Modellstall der Abmessungen  $30 \times 12,5 \times 3 \text{ m}$  berechnet, wie sich die Wärmeenergiebilanz in den Orten Oberstdorf, München und Hamburg und bei wahlweiser Belegung des Stalles mit

48 Milchkühen zu 600 kg,  $q_{Ti} = 986 \text{ W}$   
 90 Mastbullen zu 400 kg,  $q_{Ti} = 766 \text{ W}$   
 160 Mastkälbern zu 60 kg,  $q_{Ti} = 180 \text{ W}$

verändert, wenn die folgenden Größen variiert werden:

$n$	Zahl der Tiere im Stall
$q_{Ti}$	Wärmeleistung der Tiere
$\vartheta_i$	Stalltemperatur
$k_m$	Mittlerer $k$ -Wert aller Begrenzungsflächen des Stalles;
	$k_m = \frac{1}{A_g} \sum k_l A_l$ ( $A_g$ Gesamtfläche)
$L$	Lüftungswärmefaktor

Ausgangswerte waren bei  $\vartheta_i$  und  $q_{Ti}$  die in DIN 18910 festgelegten Rechenwerte. Auch für die übrigen Größen der Bilanzgleichung (2) wurden Werte entsprechend den DIN-Normen verwendet. Die Sommerablufraten beziehen sich auf die Sommertemperaturzone  $< 26 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\Delta T' = 4 \text{ K}$ ).

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in **Bild 2** und **3** zusammengefaßt. Bei der Veränderung der einzelnen Einflußgrößen waren die anderen Faktoren jeweils auf den in der 1. Spalte an der Abszisse vermerkten Ausgangswerten festgehalten.

Zur Veranschaulichung der Energiedefizite sei vermerkt, daß ein Energiedefizit von 100 MWh/a Energiekosten von 7200 DM/a entspricht, wenn ein Energiepreis von 20 DM/GJ (= 72 DM/MWh) angesetzt wird, wie es dem gegenwärtigen Heizölpreis entspricht.

### 4.2 Veränderung der Energiebilanz bei unterschiedlicher Belegung des Stalles

Aus **Bild 2** geht, für den Standort Oberstdorf, zunächst hervor, daß das Energiedefizit bei Mastkälbern wesentlich größer ist als bei Mastbullen und Milchkühen. Für die Ausgangs-Rechenwerte ergeben sich Differenzen im Energiedefizit, die zwischen Mastkälbern und Milchkühen etwa 185 MWh/a und zwischen Mastkälbern und Mastbullen etwa 174 MWh/a betragen. Dies erklärt sich damit, daß Mastkälber im Gegensatz zu Mastbullen und Milchkühen eine geringere Wärmeleistung erzeugen, als bei niedrigen Temperaturen allein über die Lüftung abgeführt wird bei Luftraten, die den  $\text{CO}_2$ - bzw. Wasserdampfgehalt im Toleranzbereich halten, **Tafel 1**.

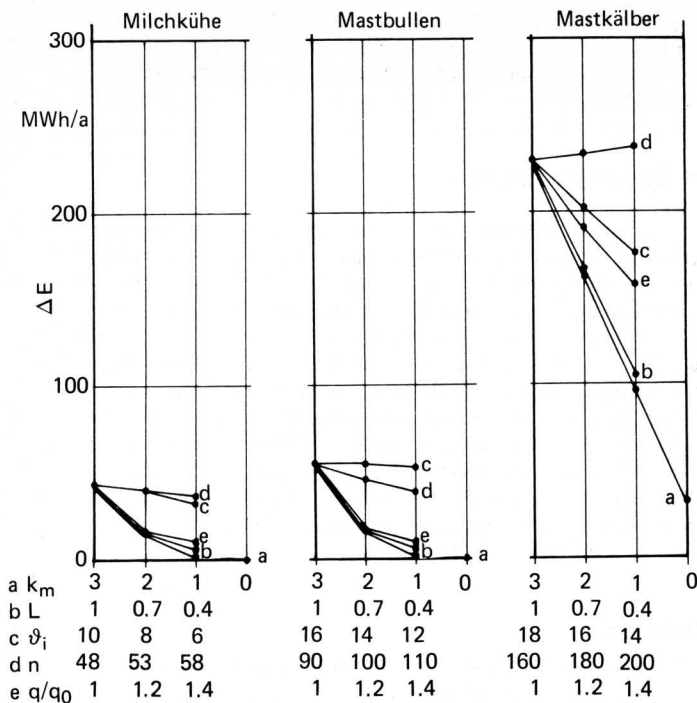
Die Werte von **Tafel 1** sind berechnet nach der Beziehung:

$$q_L = \frac{w_{Ti}}{x_i(\vartheta_i, \varphi_i) - x_a} \left[ h_i(\vartheta_i, \varphi_i) - \frac{\rho_i(\vartheta_i, \varphi_i)}{\rho_a} h_a \right]$$

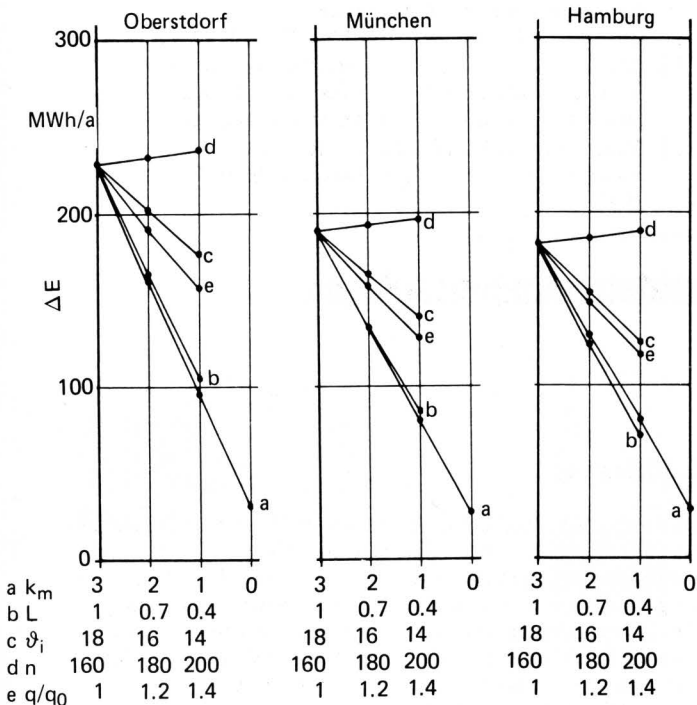
mit

$$x_a, \rho_a, h_a = f(\vartheta_a, \varphi_a = 100 \%)$$

<sup>1)</sup> Für die Erstellung des EDV-Programmes sei auch an dieser Stelle Herrn Dr. *Auernhammer* (Landtechnik Weißenstephan) gedankt.



**Bild 2.** Änderung der Wärmebilanz (Energiedefizit in MWh/a) eines Stalles durch verschiedene bauliche und betriebliche Maßnahmen, Oberstdorf.



**Bild 3.** Änderung der Wärmebilanz (Energiedefizit in MWh/a) eines Mastkälberstalles durch bauliche und betriebliche Maßnahmen in verschiedenen Klimagebieten.

Modellstall: 30 x 12.5 x 3 m

$k_m$ : Gesamt-k-Wert  
 L: Lüftungswärmefaktor  
 $\vartheta_i$ : Stalltemperatur  
 n: Zahl der Tiere  
 $q/q_0$ : Rechenwert der Wärmeleistung der Tiere, bezogen auf den Rechenwert nach DIN 18910 ( $q_0$ )

$\vartheta_a$	Milchkühe		Mastbullen		Mastkälber	
	$q_{Ti}$	$q_L$	$q_{Ti}$	$q_L$	$q_{Ti}$	$q_L$
°C	W/Tier	W/Tier	W/Tier	W/Tier	W/Tier	W/Tier
-30	986	956	766	700	180	266
-20		822		616		236
-10		727		553		214
0		727		521		208

**Tafel 1.** Wärmezeugung und Wärmeabfuhr durch Lüftung.

und den Werten:

Milchkühe  $\vartheta_i = 10$  °C;  $\varphi_i = 80$  %;  $w_{Ti} = 356$  g/h  
 Mastbullen  $\vartheta_i = 16$  °C;  $\varphi_i = 80$  %;  $w_{Ti} = 314$  g/h  
 Mastkälber  $\vartheta_i = 18$  °C;  $\varphi_i = 70$  %;  $w_{Ti} = 115$  g/h.

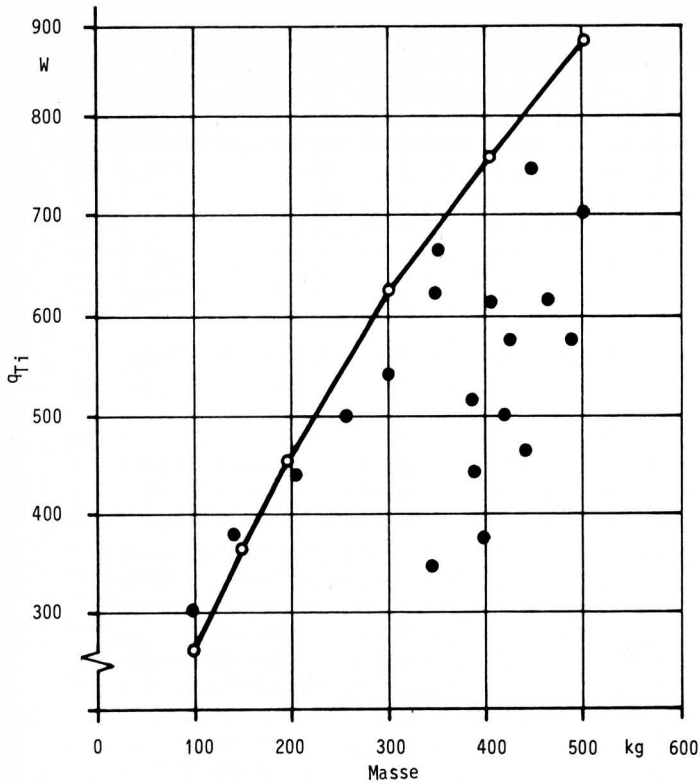
Von den variierten Größen haben der k-Wert (Kurven a) und der Lüftungswärmefaktor L (Kurven b) bei allen Tierarten den größten Einfluß auf die Energiebilanz. Bei der Belegung mit Milchkühen und Mastbullen gelingt es selbst in dem rauen Klima von Oberstdorf, mit Wärmedämm-Maßnahmen bei k-Werten unter  $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  die Bilanz praktisch auszugleichen. Dabei stellt sich die Frage, ob k-Werte unter  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  noch wirtschaftlich sind, da die damit erreichbaren Änderungen von  $\Delta E$  sehr gering sind. Diese Frage muß eine wirtschaftliche Optimierung klären. Bei einem Mastkälberstall erreicht man dagegen selbst bei vollständigem Ausscheiden von Transmissionswärmeverlusten ( $k_m = 0$ ) keinen Bilanzausgleich, da mehr als die von den Tieren erzeugte Wärme schon durch die Lüftungswärmeverluste abgeführt wird. Dennoch sind gerade bei Mastkälbern mit der Wärmedämmung und auch mit der Verminderung der Lüftungswärmeverluste besonders deutliche Energieeinsparungen möglich. Eine Veränderung des k-Wertes von 3 auf  $1 \text{ W/m}^2\text{K}$  bzw. des L-Wertes von 1 auf 0,4 führt hier zu einer Einsparung von etwa 130 MWh/a. Bei der Belegung des Stalles mit Milchkühen und Mastbullen werden dagegen nur etwa 40 bzw. 50 MWh/a gewonnen.

Die Einflußgrößen Belegdichte n (Kurven d) und Absenkung der Stalltemperatur (Kurven c) haben bei Milchkühen und Mastbullen nur einen geringen Einfluß auf die Energiebilanz. Bei den Mastkälbern führt die dichtere Belegung sogar zu einer Vergrößerung des Energiedefizits. Auch hier wirkt sich aus, daß diese Tiere weniger Wärme erzeugen, als über die Lüftung verloren geht. Durch Absenken der Stalltemperatur könnte dieses Defizit verringert und damit die Energiebilanz verbessert werden.

Bemerkenswert ist auch die Veränderung der Bilanz durch Ansatz höherer Rechenwerte für die tierische Wärmeleistung (Kurven e). Gerade diese Rechenwerte, aber auch diejenigen für den Wasserdampfanfall werden in letzter Zeit einer kritischen Überprüfung unterzogen. So gibt beispielsweise *Abshoff* [5] bis zu 50 % höhere Werte für die Wärmeleistung von Mastbullen an. Eine von *Müller* [6] am Institut für Landtechnik, Weihenstephan, als Zulassungsgarantie angefertigte Schrifttumsrecherche zeigt dagegen, daß die bei tierphysiologischen Versuchen ermittelten Wärmeleistungen z.T. deutlich unter den DIN-Werten liegen, **Bild 4**. Es sind also, auch als Grundlage der Modellrechnungen, weitere Untersuchungen zu den Rechenwerten der DIN 18910 dringend angezeigt.

### 4.3 Veränderung der Energiebilanz in verschiedenen Klimagebieten

In **Bild 3** sind die Ergebnisse für die verschiedenen Standorte Oberstdorf, München und Hamburg bei Belegung des Modellstalles mit Mastkälbern einander gegenübergestellt. Die Unterschiede in den Energiedefiziten zwischen Oberstdorf und München bzw. Hamburg in der Größenordnung von 40 bzw. 50 MWh/a erklären sich vor allem damit, daß die Häufigkeit von Temperaturen unter  $0$  °C für diese Orte deutlich verschieden ist, **Tafel 2**.



**Bild 4.** Wärmeleistung von männl. Rindern in Abhängigkeit von der Temperatur; Vergleich von Meßergebnissen im Schrifttum (●) mit den Rechenwerten der DIN 18910 (○) nach Müller [6].

Standort	Häufigkeit von $\vartheta_a < 0^\circ\text{C}$ h/a
Oberstdorf	2137
München	1655
Hamburg	1185

**Tafel 2.** Häufigkeit von Temperaturen unter 0 °C.

Aus dem Vergleich der Energiedefizite wird deutlich, daß sich im norddeutschen Raum als günstig erweisende Lösungen, z.B. bei der Wärmedämmung, in den Alpen durchaus anders einzuordnen sein können.

### 5. Zusammenfassung

Um die für den Wärmehaushalt eines Stalles maßgebenden baulichen und betrieblichen Einflußgrößen so dimensionieren zu können, daß die Jahreskosten für die erforderlichen Investitionen und für den Ausgleich des verbleibenden Wärmedefizits minimal werden, ist eine Bilanzierung der Wärmeenergien für den Stall notwendig. Es wird dafür ein Rechenmodell vorgeschlagen, das die Wärmeleistungsbilanz eines Stalles mit Häufigkeitsverteilungen der Außentemperatur verknüpft. Mit diesem Rechenverfahren läßt sich zeigen, wie sich eine Veränderung von wichtigen Einflußfaktoren auf die Energiebilanz auswirkt. Es wurden dabei Temperatur-Häufigkeitsverteilungen von Oberstdorf, München und Hamburg in die Berechnungen einbezogen, um auch den Einfluß des Außenklimas deutlich machen zu können.

### Schrifttum

- [ 1 ] DIN 18910: Klima in geschlossenen Ställen – Wasserdampf- und Wärmehaushalt im Winter, Lüftung, Beleuchtung. Berlin: Beuth Vertrieb GmbH, 1974.
- [ 2 ] Englert, G.: Beeinflussung des Wärmehaushaltes von Stallgebäuden. Landtechnik Bd. 35 (1980) H. 1, S. 20/22.
- [ 3 ] Schüle, W.: Ein neues Verfahren zur Bestimmung der Wärmedämmung von Wänden im instationären Zustand. Gesundheits-Ingenieur Bd. 78 (1957) H. 19/20, S. 3/18.
- [ 4 ] Janssen, J. u. F. Schoedder: Ableitung von Luftzustandsgrößen aus meteorologischen Daten. Grundl. Landtechnik Bd. 30 (1980) Nr. 3, S. 81/90.
- [ 5 ] Abshoff, A.J.: Stallklima und Stallklimagestaltung. Vortrag anlässlich einer Arbeitssitzung der KTBL-Arbeitsgemeinschaft "Agrartechnik in der Tierhaltung" am 23.11.79.
- [ 6 ] Müller, A.: Der Wärmeeinfall von Rindern. Zulassungsarbeit, Institut für Landtechnik der TU München, 1980.

## Automatische Feuchteregelung von Getreidetrocknungsanlagen

Von Zsolt Fábíán und Mihály Samu, Gödöllő, Ungarn\*)

DK 664.8.047:007.5:621.317.73

Die bedeutende Über Trocknung, die bei vielen Getreidetrocknern mit manueller Regelung zu beobachten ist, kann durch Anwendung einer automatischen Feuchteregelung weitgehend vermindert werden. Der beschriebene Feuchteregler kann für Schachtrockner verwendet werden; der Feuchtefühler ist am Ende der Trocknungszone untergebracht, die Regelung erfolgt über die Veränderung der Trocknungszeit. Die Genauigkeit der Regelung ist gegenüber der manuellen Lösung etwa dreimal höher, d.h. der mittlere relative Fehler für den Feuchtegehalt wird auf ein Drittel des Wertes bei manueller Regelung herabgesetzt. Bei automatischer Regelung kann der Feuchtegehalt des Trocknungsgutes in einem Bereich von 2 % eingehalten werden.

\*) Dr. Z. Fábíán und M. Samu arbeiten in der Hauptabteilung für Grundlagenforschung und Meßtechnik des Instituts für Landtechnik (Direktor: Dr. Gyula Bánházi) Gödöllő, Ungarn.

### 1. Einleitung

Die landwirtschaftliche Produktion unserer Zeit ist durch eine umfassende Mechanisierung und in vielen Bereichen durch eine fast industriemäßige Produktion gekennzeichnet. Durch die Mechanisierung wurden die Vorbedingungen für eine weitere Entwicklung, die Automatisierung, geschaffen. Anstrengungen zur Automatisierung der landwirtschaftlichen Arbeitsprozesse sind auf einzelnen Gebieten recht ausgeprägt und auch auf dem Gebiet der Produktion von Getreide zu beobachten.

In Ungarn hat der Anbau von Getreide und besonders die Maisproduktion eine große Bedeutung, so daß die Entwicklung der entsprechenden Produktionssysteme auch in diesem Sektor am ehesten vor sich ging.

Bei der Ernte überschreitet der Mais mit einem Feuchtegehalt von U = 25–40 % weitaus den Wert von 14 %, der bei der Lagerung zugelassen werden kann. Deshalb muß das Erntegut im Interesse der sicheren Lagerung konserviert werden. Die Konservierung von Mais wird heute und sicher auch in der Zukunft größtenteils durch