

Energiewirtschaftliche Aspekte für die Auslegung und den Betrieb von Lüftungs- und Heizungsprozessen in Stallanlagen

Dr.-Ing. A. Schulz/Dipl.-Ing. E. Hanke
Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

Verwendete Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen

A	Fläche
b	Betriebsdauer der Heizung
c_{pL}	spezifische Wärmekapazität der Luft
E_B	Bezugsenergiebedarf
E_G	Gebrauchsenergiebedarf
e_G	spezifischer Gebrauchsenergiebedarf
H_u	unterer Heizwert
k	Wärmedurchgangszahl
$\Sigma k \cdot A$	spezifischer Transmissionswärmeverlust
m_{Ti}	Lebendmasse, Tiermasse
Q_F	Verdunstungswärme
Q_{H1}	Heizleistung
Q_{H2}	mittlere Heizleistung
q_{Ti}	spezifische Nutzwärmeabgabe je Tier
Q_{HV}	Wärmeverlust
t_a	Außenlufttemperatur
t_{Au}	Temperatur für Auslegungszustand
t_H	Heizgrenztemperatur
t_{RHW}	Temperatur des Heizungswarmwasserrücklaufs
t_S	Stalllufttemperatur
V_L	Luftrate
V_{LCO_2}	Luftrate nach der CO_2 -Last
x	Regelgröße
ρ_L	Dichte der Luft
η	Wirkungsgrad
Indizes	
H	Heizung
L	Luft
Ti	Tier
N	nutzbar
Au	Auslegungszustand
inst.	installiert
ges.	gesamt
max.	maximal
min.	minimal
erf.	erforderlich
opt.	optimal
Abkürzungen	
BB	Braunkohlenbriketts
M	Drehstrommotor
HL	Heizlüfter
ZL	Zentrallüfter
WÜ	Wärmeübertrager
HW	Heizungswarmwasser

1. Einleitung

In den Tierproduktionsbetrieben der DDR betrug im Jahr 1979 der Energieverbrauch rd. $30,7 \cdot 10^3$ TJ, das entspricht etwa 14 % des Gesamtenergieverbrauchs der Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft [1]. Von diesem Verbrauch entfallen rd. 56 % auf die Energieträger feste Brennstoffe, Heizöl und Gas. Der Anteil an Elektroenergie beträgt etwa 23 %, und die restlichen 21 % entfallen auf Diesel- und Vergaserkraftstoff.

Projektanalytische und experimentelle Untersuchungen in industriemäßigen Anlagen der Rinderproduktion haben ergeben, daß 48 bis 55 % des Elektroenergieverbrauchs auf die Stalllüftung entfallen. Diese Aussage trifft auch auf industriemäßige Schweineaufzucht- und -mastanlagen zu. In Ferkelproduktions- und Komplexanlagen der Schweineproduktion beträgt der Anteil am Elektroenergieverbrauch für die Lüftung rd. 30 %.

Projektanalytische und experimentelle Untersuchungen zum Wärmeverbrauch in einer Milchviehanlage MVA 1930 hatten zum Ergebnis, daß rd. 48 % der Wärmeenergie auf die Stallheizung, 35 % auf die Gebrauchswarmwasserbereitung und 17 % auf die Heizung der Nebenanlagen entfallen [2]. In Schweinemastanlagen liegt der Anteil für die Stallheizung in der gleichen Größenordnung wie in einer MVA 1930, wogegen in Ferkelproduktionsanlagen dieser Anteil rd. 25 % und in Komplexanlagen der Schweineproduktion rd. 36 % beträgt. Insgesamt kann jedoch eingeschätzt werden, daß je nach Art der Anlagen (Stufenproduktions- bzw. Komplexanlagen) im Prozeß der Stallheizung und -lüftung rd. 30 bis 50 % des Gesamtenergieverbrauchs (Elektroenergie und Wärme) eingesetzt werden.

Damit ist der Prozeß der Stallheizung und

-lüftung aus energetischer Sicht der dominierende Prozeß.

Nachfolgend werden einige wesentliche Einflußfaktoren des Stallklimas sowie Aspekte zur technischen Gestaltung des Stallheizungs- und -lüftungssystems auf den Energieverbrauch und Maßnahmen zu dessen Senkung dargelegt.

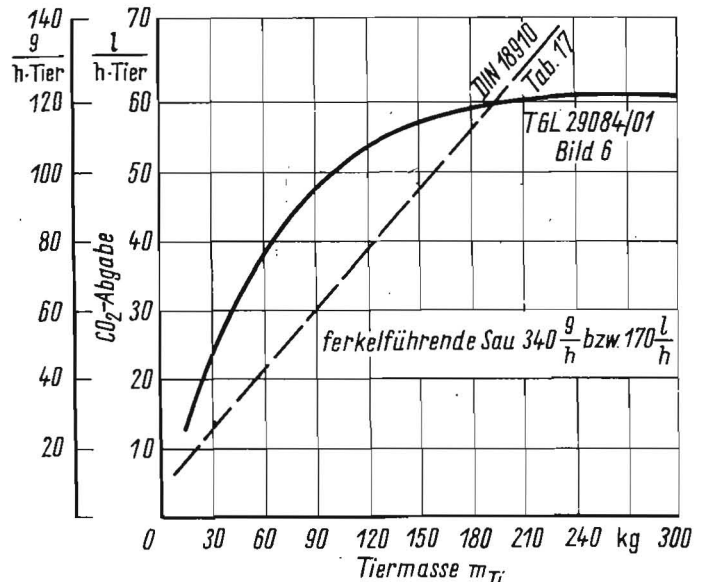
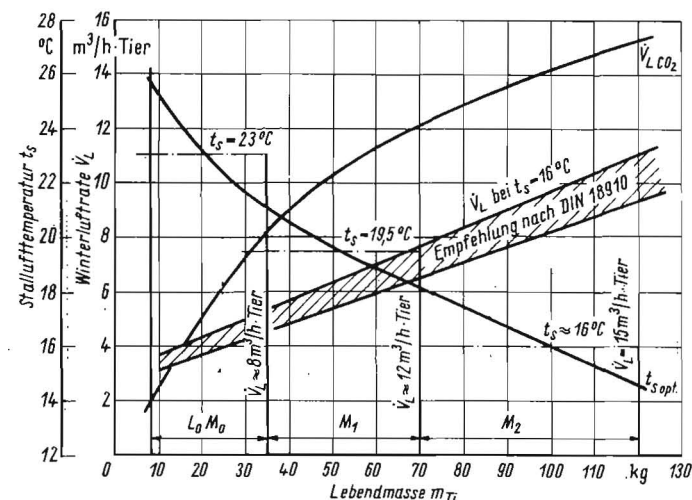
2. Stallklimatische Anforderungen und ihr Einfluß auf den Energiebedarf

Bisherige energiewirtschaftliche Untersuchungen in Anlagen der industriemäßigen Rinder- und Schweineproduktion ermöglichten bis auf einige Ausnahmen [3] keine meßtechnische Erfassung des Wärmeverbrauchs für die Stallheizung. Ursachen dafür waren die fehlende Meßtechnik in den Anlagen und die nicht mögliche Nachrüstbarkeit im Rahmen der Untersuchungen.

Demzufolge ist die Bestimmung des Einflusses stallklimatischer Anforderungen auf den Energiebedarf vorerst nur theoretisch möglich. Im folgenden wird am Beispiel der Läufer- und Mastschweinehaltung dieser Einfluß auf der Grundlage der tierphysiologischen Angaben zum Stallklima nach Standard TGL 29084/01 [4], wie z.B. optimale Stalllufttemperatur, Winterluftrate, Gesamtwärme- und Wasserdampf-abgabe, dargestellt, wobei die Ergebnisse von der Aussage her generell auf andere Haltungsrichtungen der Rinder- und Schweineproduktion übertragbar sind. Im Bild 1 werden die optimale Stalllufttemperatur und die erforderliche Winterluftrate in Abhängigkeit von der Lebendmasse (8,5 bis 120 kg) für Läufer und Mastschweine unter Nutzung von Angaben aus [4, 5, 6] dargestellt. Die Winterluftrate nach der CO_2 -Last gilt als Auslegungsparameter für das Lüftungssystem, da die Luftrate nach der Wasserdampf-Last unter der der CO_2 -Last liegt. Ein Vergleich der erforderlichen Winterluftrate

Bild 2. CO_2 -Abgabe in Abhängigkeit von der Lebendmasse der Schweine

Bild 1. Optimale Stalllufttemperatur und erforderliche Winterluftrate in Abhängigkeit von der Lebendmasse für Läufer und Mastschweine



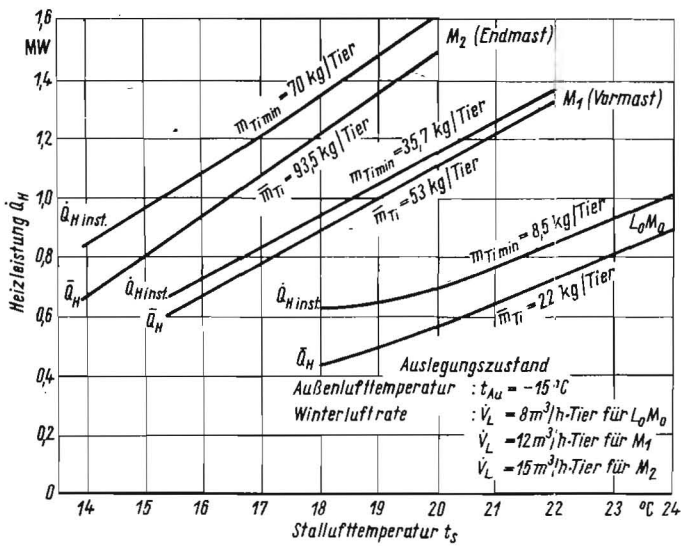


Bild 3. Heizleistung in Abhängigkeit von der Stallufttemperatur für je 10 Läufer-, Vormast- und Endmastställe

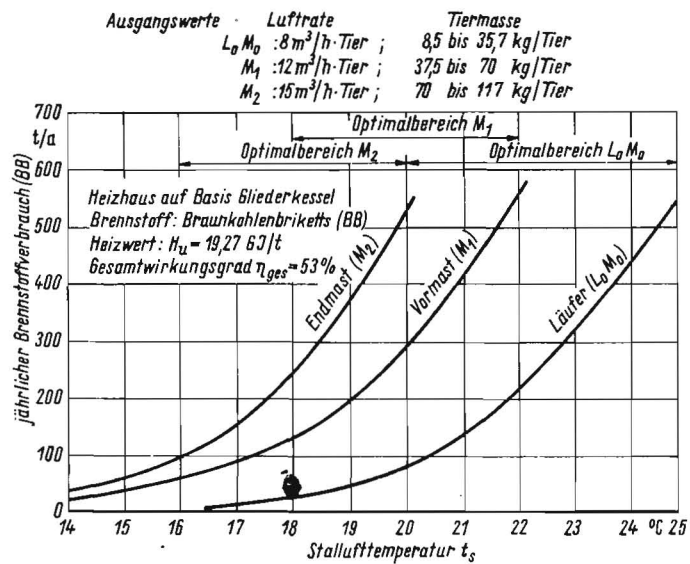


Bild 4. Jährlicher Brennstoffverbrauch in Abhängigkeit von der Stallufttemperatur für je 10 Läufer-, Vormast- und Endmastställe

nach TGL 29084 mit der nach DIN 18910 (schraffierte Fläche) zeigt erhebliche Unterschiede. Diese ergeben sich aus den unterschiedlichen Vorgaben für die CO₂-Abgabe der Tiere gemäß Bild 2.

Ein energetischer Vergleich der Stallheizungs- und -lüftungsanlagen mit dem internationalen Höchststand würde selbst dann, wenn die übrigen Randbedingungen, wie z. B. Stalllufttemperatur, Wärmedämmung des Baukörpers, Wirkungsgrad der Energieanwendung und -umwandlung u. a., gleich wären, zuungunsten der einheimischen Stallheizungs- und -lüftungssysteme ausfallen. Dies resultiert aus dem höheren Frischluftbedarf und dem damit verbundenen höheren Lüftungswärmebedarf sowie dem elektrischen Leistungsbedarf für den Lüfterantrieb. Der Brennstoffbedarf für die Stallheizung wird jedoch wesentlich darüber liegen, da die Heizgrenztemperaturen und damit auch die Heizstunden je Jahr ansteigen, wie später noch gezeigt wird.

Der Einfluß der Stalllufttemperatur auf die Heizleistung und den Brennstoffverbrauch in verschiedenen Haltungsstufen ist in den Bil-

dern 3 und 4 dargestellt. Bild 3 zeigt die maximale und mittlere Heizleistung in Abhängigkeit von der Stalllufttemperatur für jeweils 10 Ställe der Produktionsstufen Läufer (L₀M₀), Vormast (M₁) und Endmast (M₂). In den interessierenden Stalllufttemperaturbereichen ergibt sich eine lineare Abhängigkeit von der Stalllufttemperatur. Der Auslastungsgrad zwischen der maximal in Anspruch genommenen zu der im Stall zu installierenden Heizleistung liegt bei 87 bzw. 94 % je nach Art der Haltungsstufe, was bei der Auslegung des Heizhauses zu berücksichtigen ist.

Im Bild 4 wird der jährliche Brennstoffbedarf in Abhängigkeit von der Stalllufttemperatur gezeigt. Daraus ist ersichtlich, daß gerade in den nach [4] vorgegebenen Optimalbereichen der Stalllufttemperatur — das sind für L₀M₀: 20 bis 25 °C; M₁: 18 bis 22 °C; M₂: 16 bis 20 °C — ein starker Anstieg des Brennstoffbedarfs zu verzeichnen ist. So führt z. B. die Erhöhung der Stalllufttemperatur von 16 auf 18 °C in der Endmast zu einem 2,5fachen Brennstoffbedarf. Die Ursachen hierfür sind aus Bild 5 ersichtlich. Dieses Bild zeigt den auf ein Mastschwein mit

einer mittleren Masse von 93 kg bezogenen Gebrauchsenergiebedarf und die Heizstunden je Jahr in Abhängigkeit von der Stallluft- und Außenlufttemperatur, wobei der Zusammenhang zwischen Heizstunden und Außenlufttemperatur auf der Grundlage des 60jährigen statistischen Mittels der Summenhäufigkeitsverteilung für Potsdam beruht. Nach Bild 6 stellt sich bei einer Stalllufttemperatur von 16 °C eine Heizgrenztemperatur von -1,8 °C ein, woraus rd. 970 Heizstunden je Jahr resultieren. Dagegen erhöht sich die Heizgrenztemperatur auf 1,9 °C bei einer Stalllufttemperatur von 18 °C, was eine Zunahme der Heizdauer auf 2200 h je Jahr zur Folge hat. Unter der Heizgrenztemperatur ist die Temperatur der Außenluft zu verstehen, bei der ohne Erwärmung der Zuluft die geforderte Stalllufttemperatur eingehalten wird. Sie ist berechenbar nach folgender Gleichung:

$$t_{gr} = t_s - \frac{\dot{Q}_{Ti} - \dot{Q}_F}{(\dot{V}_{L,PL} c_{pl} + \sum k \cdot A)}$$

Zugleich verringert sich die nutzbare Wärmeabgabe eines Tieres von 127,2 W auf 115,2 W. Der

Bild 5. Heizleistung, Gebrauchsenergiebedarf und Heizstunden je Jahr in Abhängigkeit von der Stalllufttemperatur

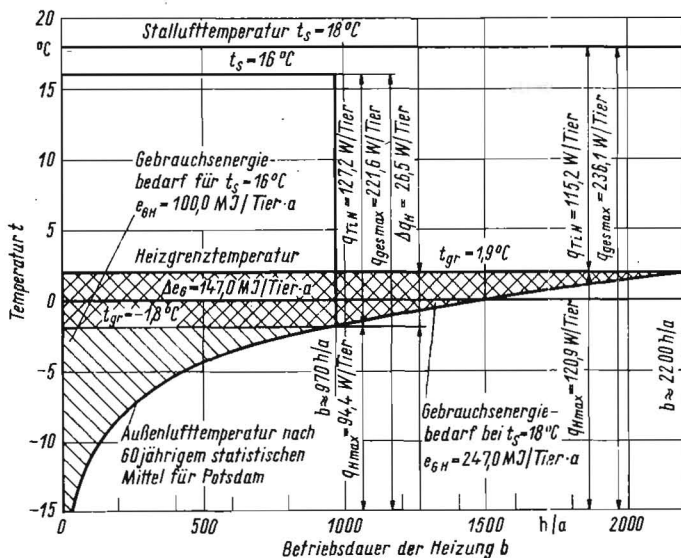
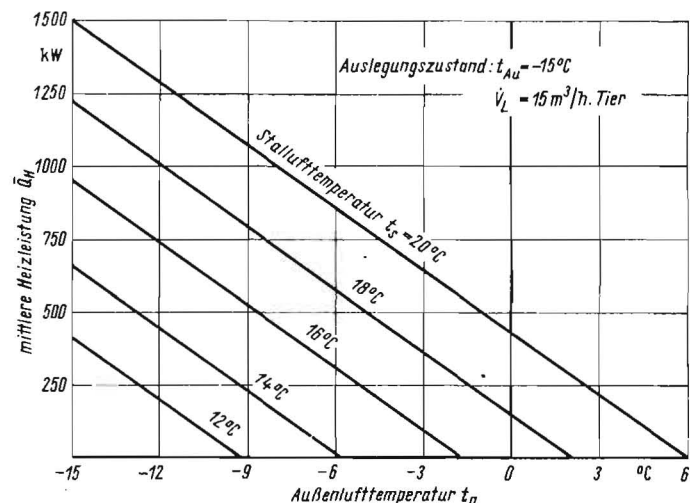


Bild 6. Mittlere Heizleistung in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur von 10 Mastställen (m_{Ti} = 70...117 kg)



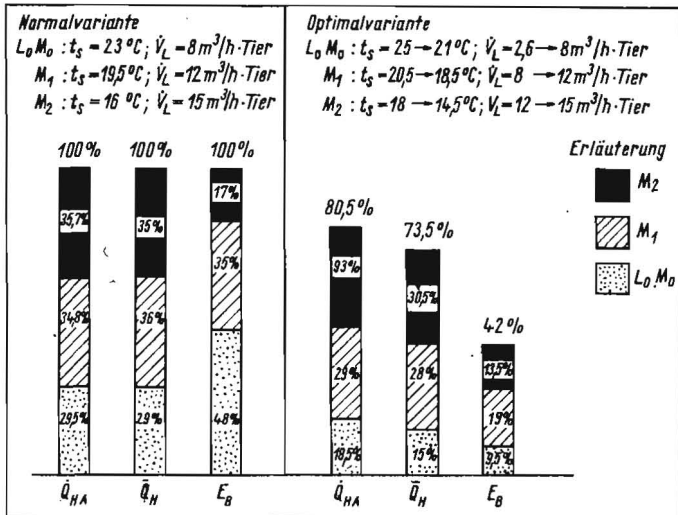
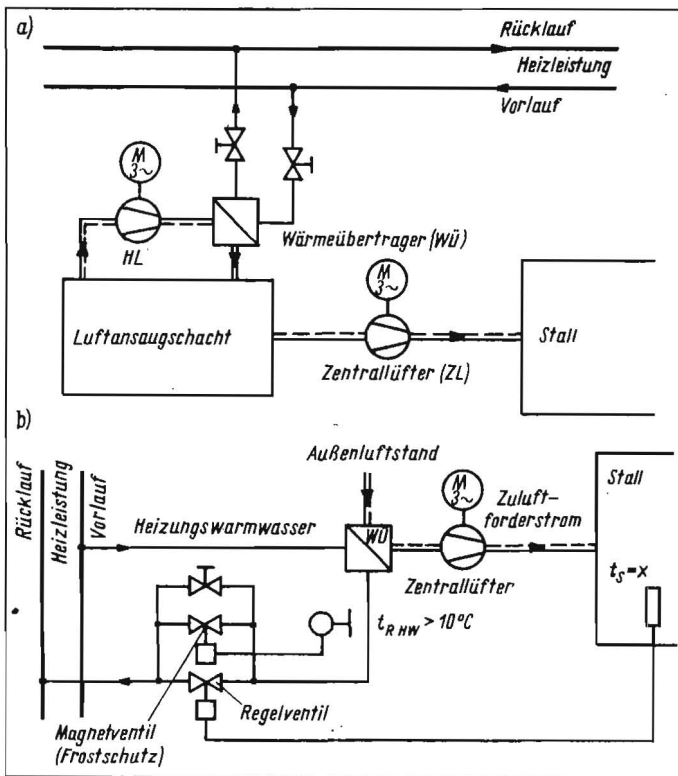


Bild 7. Energetische Kennziffern der Optimalvariante im Vergleich zur Normalvariante; 100% entspricht:
 $Q_{HA} = 3110 \text{ kW}$
 $Q_H = 2850 \text{ kW}$
 $E_B = 716 \text{ t BB/a}$

Bild 8. Schaltschemata von Stallluftsystemen;
 a) kombiniertes Lüftungssystem SL 80
 b) Stalllüftungssystem SL 70



Gebrauchsenergiebedarf beträgt bei einer Stalllufttemperatur von 16°C rd. $100 \text{ MJ/Tier} \cdot \text{a}$ (einfach schraffierte Fläche im Bild 5) und erhöht sich bei 18°C um $147 \text{ MJ/Tier} \cdot \text{a}$ (doppelt schraffierte Fläche) auf insgesamt $247 \text{ MJ/Tier} \cdot \text{a}$, was der bereits erwähnten 2,5fachen Brennstoffverbrauchserhöhung entspricht.

Aus den Darlegungen kann der Schluß gezogen werden, daß die Stalllufttemperatur entscheidend die Heizleistung, aber vor allem den Brennstoffbedarf bestimmt. Die Forderung nach einer begründeten Stalllufttemperatur wird damit unterstrichen. Außerdem kann daraus abgeleitet werden, daß im praktischen Betrieb die Reglereinstellung sehr sorgfältig vorgenommen werden muß und wartungsarme und betriebssichere Regeleinrichtungen einzusetzen sind.

Die bisher aufgeführten Ergebnisse beruhen darauf, daß die Lüftungsanlagen in der Heizperiode eine konstante Winterluftrate fördern, die für die Läuferhaltung $8 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{Tier}$, für die Vormast $12 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{Tier}$ und für die Endmast $15 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{Tier}$ beträgt, was der gegenwärtigen Auslegung der Lüftungsanlage entspricht.

Nach Bild 1 besteht eine Abhängigkeit der Winterluftrate und der optimalen Stalllufttemperatur von der Lebendmasse der Tiere. Diese Abhängigkeit wurde bisher bei der Auslegung des Lüftungssystems nicht berücksichtigt (außer bei Geflügelproduktionsanlagen). Der Einfluß der Anpassung der Winterluftrate und der Stalllufttemperatur an die Lebendmasse der Tiere (Optimalvariante) auf die energiewirtschaftlichen Kennziffern des Lüftungs- und Heizungssystems wird im folgenden als Vergleich zur herkömmlichen Auslegung (Normalvariante) dargestellt. Dieser Variantenvergleich wird für eine Aufzucht- und Mastanlage mit je 10 Stalleinheiten durchgeführt.

Das Ergebnis dieses Vergleichs ist im Bild 7 zu erkennen. Die Anpassung des Luftförderstromes sowie der Stalllufttemperatur an die Lebendmasse wird zwar einen lüftungstechnischen Mehraufwand, vor allem bedingt durch die höheren Anforderungen an die Regelungs-

technik, gegenüber der Normalvariante erfordern, der energiewirtschaftliche Nutzen ist jedoch sehr hoch, selbst wenn die auf theoretischem Wege nachgewiesene Brennstoffeinsparung, die bei rd. 58% liegt, unter praktischen Bedingungen nicht in voller Höhe erreicht wird. Hauptanteil daran haben vor allem die Läuferställe. Hier ist eine Reduzierung des Brennstoffbedarfs um rd. 80%, d.h. von 342 auf 68 t BB je Jahr zu verzeichnen.

Auch im Elektroenergieverbrauch dürften wesentliche Senkungen bei der Optimalvariante im Vergleich zur Normalvariante eintreten. Das Ergebnis verdient nicht nur unter dem Aspekt der Senkung des Brennstoffverbrauchs eine besondere Beachtung, sondern auch bezüglich der Aufwendungen zur Erzeugung von 1 GJ Gebrauchsenergie, im speziellen Fall zur Erzeugung von Heizungswarmwasser.

Die jährlichen Betriebskosten zur Erzeugung von 1 GJ Heizungswarmwasser betragen beispielsweise für die genannte Aufzucht- und Mastanlage mit einer Jahresproduktion von 5,3 kt rd. 24 M. Bei Ferkelproduktionsanlagen und Komplexanlagen (z.B. 6kt/a) liegen die spezifischen Kosten zur Erzeugung von 1 GJ Heizungswarmwasser zwischen 19 und 25 M. Die spezifischen Brennstoffkosten liegen dagegen z. Z. lediglich bei 2,60 M/GJ und haben damit einen Anteil von rd. 10 bis 13% an den jährlichen Betriebskosten zur Erzeugung von Heizungswarmwasser.

Unter Beachtung dieses Sachverhalts darf ein Vergleich der reinen Brennstoffkosten mit den Energiekosten aus der Futterwärme ($37,50$ bis 75 M/GJ), wie er in [7] angestellt wurde, nicht vorgenommen werden. Eine wesentliche Senkung des Elektroenergieverbrauchs um 10 bis 30% je nach Haltungstufe ist beim Betrieb des Lüftungssystems durch Anpassung der Luftrate an die Lebendmasse im Sommer- und Winterbetrieb zu erwarten, wobei vor allem in Läuferställen die hauptsächlichsten Einsparungen erzielt werden.

3. Aspekte der energetisch rationellen Gestaltung und Betriebsweise der Heizungs- und Lüftungsprozesse

Neben der Entwicklung und Anwendung neuer energiesparender Lüftungssysteme, wie z.B. des SL 80, das eine Elektroenergieeinsparung von rd. 30 bis 40% im Vergleich zum SL 70 ermöglicht [2, 3], gilt es, zukünftig durch verschiedene Maßnahmen den Energieverbrauch in der Stalllüftung und -heizung zu senken. Dazu gehören vor allem solche Maßnahmen, wie

- Vorgabe und Einhaltung optimaler Stalllufttemperaturen
- Senkung der vermeidbaren Verluste beim Betrieb der Heizung
- Anpassung der Luftrate und Stalllufttemperatur an die Lebendmasse.

Die vermeidbaren Wärmeverluste stellen sich dar als Wärmeverteilungsverluste und Wärmeverluste am Wärmeübertrager infolge Vermeidung des Einfrierens.

Im Bild 6 wird die mittlere Heizleistung von 10 Endmastställen der Schweineproduktion in Abhängigkeit von der Außen- und Stalllufttemperatur gezeigt. Danach braucht die Heizung z.B. bei einer Stalllufttemperatur von 16°C erst bei einer Außenlufttemperatur unter -2°C in Betrieb genommen zu werden. Der Wert der Außenlufttemperatur, ab dem der Zuluftförderstrom erwärmt werden muß, wurde bereits im Abschn. 2 als Heizgrenztemperatur definiert. Heizgrenztemperaturen unter 0°C sind in allen Schweineställen mit einer Tiermasse größer 80 kg außer bei Ställen mit ferkelführenden Sauen zu erwarten.

Um die Wärmeverteilungsverluste so gering wie möglich zu halten, sollten daher nur solche Ställe durch eine gemeinsame Heizleitung versorgt werden, die annähernd die gleiche Heizgrenztemperatur aufweisen. In der Praxis sind die Heizungssysteme erst dann in Betrieb zu setzen, wenn die Heizgrenztemperatur erreicht wird bzw. die Gefahr des Einfrierens der Heizleitung besteht. Die meßtechnische Erfassung sowie die kontinuierliche Überwachung der Stalllufttemperatur in der Heizperiode ist somit eine wesentliche Voraussetzung für einen

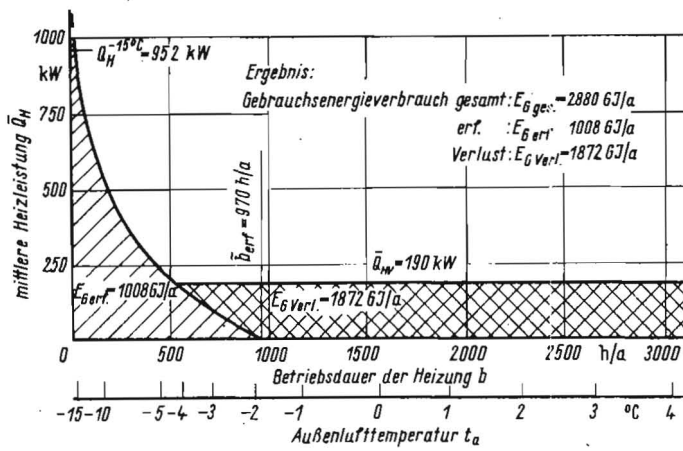


Bild 9. Mittlere Heizleistung und Gebrauchsenergieverbrauch für 10 Schweinemastställe (Endmast $m_{T1} = 70 \dots 117$ kg)

Ausgangswerte:

Stalllufttemperatur $t_s = 16^\circ\text{C}$; Winterluftrate $\dot{V}_L = 15 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{Tier}$; Betriebsdauer der Heizung $b = 3380 \text{ h/a}$ (ab 5°C); Tieranzahl $Z_{T1} = 1008$; mittlere Tiermasse $m_{T1} = 93,5 \text{ kg}$; Häufigkeitsverteilung der Außenlufttemperatur von Potsdam (60jähriges Mittel)

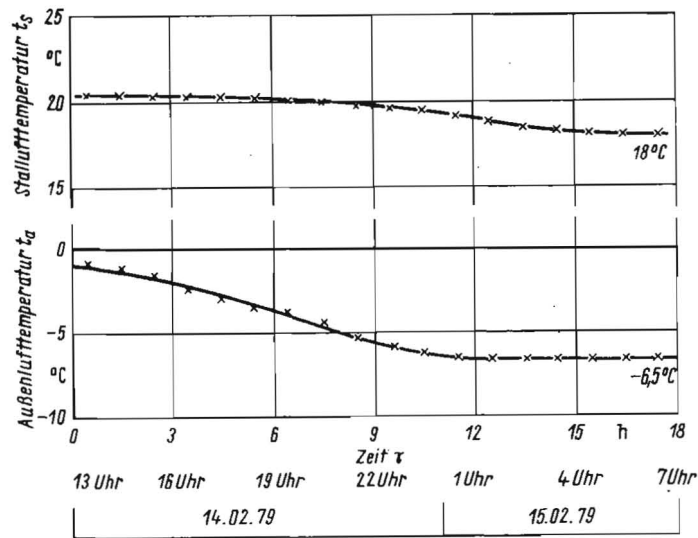


Bild 10. Gemessene Außen- und Stalllufttemperaturen ohne Heizung (SL-Stall)

wirtschaftlichen Betrieb der Stallheizung. Beim Stallheizungs- und -lüftungssystem SL 70, das in Ställen mit Heizgrenztemperaturen unter 0°C installiert ist, besteht ebenfalls die Gefahr des Einfrierens des Wärmeübertragers, da dieser, wie Bild 8b zeigt, kontinuierlich von Frischluft durchströmt wird. Da die ehemals im Projekt vorgesehene automatische Frostschutzsicherung keine ausreichende Funktionssicherheit garantiert, wird in der Praxis über eine Umgehungsleitung zum Regelventil ein Teilstrom des Heizungswarmwassers geführt. Beim kombinierten Lüftungssystem SL 80 (Bild 8a) besteht die Gefahr des Einfrierens des Wärmeübertragers nicht, da dieser nur von der Frischluft durchströmt wird, wenn ein Heizen des Stalles notwendig ist. Durch wärmetechnische Untersuchungen am Stallheizungs- und -lüftungssystem SL 70 in einem Maststall wurde ein kontinuierlicher Wärmeverlust in Höhe von 19 kW bei der oben dargelegten Betriebsweise zur Sicherung des Frostschutzes ermittelt. Wird angenommen, daß die Heizungssysteme ab einer mittleren Außenlufttemperatur von 5°C in Betrieb genommen werden, was der praktischen Fahrweise in den Anlagen weitgehend entsprechen dürfte, so muß bei einer Mastanlage mit rd. 12 000 Tierplätzen mit einem jährlichen vermeidbaren Verlust an Wärmeenergie in Höhe von 1870 GJ gerechnet werden. Das entspricht der doppelt schraffierten Fläche im Bild 9. Dagegen beträgt der erforderliche Bedarf an Gebrauchsenergie nur rd. 1000 GJ/a , was durch die einfach schraffierte Fläche im Bild 9 gekennzeichnet ist. Dieser Wärmebedarf wird beim kombinierten Lüftungssystem auch nur in Anspruch genommen.

Zur Senkung der vermeidbaren Wärmeverluste in Tierproduktionsanlagen, die mit dem Stallheizungs- und -lüftungssystem SL 70 ausgerüstet sind, müssen die automatische Frostschutzregelrichtungen umgerüstet werden. Die in den Projekten vorgesehene Konzeption zur Frostschutzregelung mit Magnetventil und Temperaturfühler in der Rücklaufleitung nach dem Wärmeübertrager (s. Bild 8) ist durch eine unzureichende Funktionstüchtigkeit gekennzeichnet, da durch die Wahl des Meßortes nicht die Temperatur im Wärmeübertrager gemessen wird. Damit kann ein Einfrieren des Wärmeübertragers nicht vermieden werden, wie es sich

im praktischen Betrieb zeigte. Es wird vorgeschlagen, den Meßfühler unmittelbar im Rippenrohrwärmeübertrager wasserseitig zu installieren. Praktische Untersuchungen bestätigen die Funktionssicherheit dieser Lösung. Der Lüftungswärmeverlust beim SL 80 tritt nicht auf. Der Wärmeübertrager wird nur im Fall des Heizens von Frischluft durchströmt (s. Bild 8).

Im Bild 10 ist der Temperaturgang bei eingefrorenem Wärmeübertrager dargestellt. Danach werden selbst bei Außenlufttemperaturen von $-6,5^\circ\text{C}$ noch Stalllufttemperaturen von 18°C ohne Heizung erreicht. Der Widerspruch, der im Vergleich zu den theoretischen Ergebnissen nach den Bildern 5 und 6 auftritt (dort wurde für eine Stalllufttemperatur von 18°C eine Heizgrenztemperatur von 2°C angegeben), resultiert vor allem daraus, daß durch das Lüftungssystem SL 70 nur rd. 72% der erforderlichen Luftrate nach Standard TGL 29084 gefördert wurden.

Interessant daran ist, daß selbst bei dieser niedrigen Luftrate von rd. $10,8 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{Tier}$ eine Überschreitung der zulässigen Schadgaskonzentration nicht nachgewiesen werden konnte, obgleich die Tiere bereits eine Lebendmasse von über 100 kg erreicht hatten. Dieses Ergebnis entspricht den Vorgaben nach [5] bezüglich der erforderlichen Luftrate (s. Bilder 1 und 2) und macht auf einen Widerspruch in der Vorgabe der CO_2 -Abgabe der Tiere nach [4] (s. Bild 2) aufmerksam. Der energiewirtschaftliche Vorteil der Betriebsweise des Lüftungs- und Heizungssystems in Form der Anpassung der Stallluftrate und -temperatur an die Lebendmasse bei wachsenden Tieren (Schweinaufzucht und -mast, Kälber und Jungriinder) wurde bereits im Abschn. 2 herausgestellt. Hieraus leitet sich die begründete Forderung nach Entwicklung und Anwendung geeigneter Steuer- und Regeleinrichtungen für die Rationalisierung im Betrieb befindlicher Lüftungssysteme sowie Nutzung dieser Erkenntnisse bei der Projektierung von Stalllüftungsanlagen ab.

4. Zusammenfassung

Ausgehend von den stallklimatischen Anforderungen wurden der Einfluß der Stalllufttemperatur auf den Energiebedarf und Aspekte der wirtschaftlichen Auslegung und Betriebsweise

der Stalllüftung und -heizung von Schweineproduktionsanlagen dargestellt.

Daraus ableitend erhebt sich die Forderung nach Vorgabe begründeter Stalllufttemperaturen und deren unbedingte Einhaltung im praktischen Betrieb. Zugleich wird unterstrichen, daß durch die Anwendung von Stalllüftungs- und -heizungssystemen, die eine Anpassung der Stalllufttemperatur und der Luftrate an die Lebendmasse bei wachsenden Tieren gestatten, eine wesentliche Erhöhung der energiewirtschaftlichen Effektivität erzielt wird. Abgeleitet aus dem praktischen Betrieb von Stalllüftungs- und -heizungssystemen werden Möglichkeiten zur Senkung der vermeidbaren Wärmeverluste, die ihren Ursprung in der Systemgestaltung haben, gezeigt.

Die Ergebnisse sind grundsätzlich auf andere Haltungsrichtungen der Tierproduktion übertragbar.

Literatur

- [1] Energiewirtschaftliche Jahresanalyse 1979 des MLFN. FZM Schlieben/Bornim, Arbeitsmaterial 1980 (unveröffentlicht).
- [2] Hanke, E.; Schupp, S.: Energiewirtschaftliche Prozeßanalyse in einer Milchviehanlage. agrartechnik 29 (1979) H. 12, S. 558–560.
- [3] Energiewirtschaftliche Untersuchung industriemäßiger Tierproduktionsanlagen. FZM Schlieben/Bornim, Forschungsbericht 1978 (unveröffentlicht).
- [4] TGL 29084/01 Stallklimagestaltung; Tierphysiologische Angaben zum Stallklima und zur Beleuchtung. Aug. Jan. 1979.
- [5] DIN 18910 Klima in geschlossenen Ställen; Wasserdampf- und Wärmehaushalt im Winter; Lüftung und Beleuchtung; Wärme- und Feuchteschutz der Bauteile. Aug. 1972.
- [6] Autorenkollektiv: Wissenschaftlich-technische Grundlagen zur Klimagestaltung in Tierproduktionsanlagen und Lagerräumen. Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim, Institutsbericht Nr. 25/1975, S. 48.
- [7] Bauer, W.: Zur Ökonomie der Heizung in Tierproduktionsanlagen. agrartechnik 26 (1976) H. 8, S. 396–398.