

# Optimale Klimagegestaltung in Anlagen der tierischen Produktion

Dr. sc. techn. W. Maltry, KDT, Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim der AdL der DDR

## 1. Problemstellung

Optimale Stallklimagegestaltung darf sich nicht darauf beschränken, die Aufwendungen für die eigentlichen Klimatisierungseinrichtungen (Investitions- und Betriebskosten) zu einem Minimum zu bringen, sondern es ist vielmehr erforderlich, das gesamte Verfahren der tierischen Produktion unter Berücksichtigung aller vom Stallklima beeinflussten Faktoren zu optimieren. Da sowohl die tierische Leistung (Fleischansatz, Milch, Eier) als auch der spezifische Futterverbrauch je Leistungseinheit vom Stallklima beeinflusst werden, geht es insbesondere um die komplexe energiewirtschaftliche Optimierung der energetischen Aufwendungen durch Futter und Klimatisierungseinrichtungen.

## 2. Tierische Leistung und Stallklima

Zum Abführen der im Tierbereich entstehenden Schadgase sind gewisse Mindestfrischluftstraten erforderlich, die in der neu erarbeiteten TGL 29084 /1/ standardisiert wurden. Ebenfalls standardisiert wurden die einzuhaltenden Werte der relativen Feuchte, die vor allem zur Aufrechterhaltung der Tiergesundheit nach oben und nach unten begrenzt wurden.

Die Temperatur hat unter den Stallklimaparametern die weitaus größte Bedeutung. Es sind u. a. Untersuchungsergebnisse von Milchvieh (Bild 1) und Mastschweinen (Bild 2) bekannt, wonach es eine bestimmte Temperatur oder einen bestimmten Temperaturbereich mit jeweils maximaler tierischer Leistung gibt. Der Optimaltemperaturbereich ist tierart-, rassen- und altersbedingt. Allerdings ist nicht nur die tierische Leistung selbst, sondern auch der spezifische Futterverbrauch je Einheit der tierischen Leistung temperaturabhängig. Ergebnisse sind u. a. von Mastschweinen bekannt

(Fortsetzung von Seite 382)

Stalllufttemperatur nicht bis zum Gefrierpunkt absinkt. Maßnahmen zur Drosselung der Lüftung unter die rechnerisch ermittelte Mindestlüftung sind nicht notwendig. Die Ökonomie einer Heizungsanlage in Milchviehställen darf nicht allein nach der Zahl der Betriebsstunden betrachtet werden. Es sind in erster Linie die Schäden beim Betrieb der Anlage abzuschätzen, die durch die Heizungsanlage mit Sicherheit verhindert werden.

## Literatur

- [1] —: Richtlinie „Geschlossene Ställe — Wärmehaushalt im Winter, Berechnungsgrundlagen“. Deutsche Bauinformation 1966.
- [2] Autorenkollektiv: Stalllüftung — Berechnungsgrundlagen. Institut für Mechanisierung der AdL Potsdam-Bornim 1970.
- [3] Schleitzer, G.: Technische und ökonomische Probleme bei der Erprobung von Anlagen der Tierproduktion. Dt. Agrartechnik 22 (1972) H. 2, S. 82—86.
- [4] —: TGL 112-0319, Ausg. 9.64: Wärmebedarf von Gebäuden, Berechnungsgrundlagen.
- [5] Petzold, K.; Schwenke, H.: Der Einfluß der Innenspeicherung auf die Wärmelast und die maximale Raumlufttemperatur in Stallbauten. Luft- und Kältetechnik 5 (1969) H. 6, S. 283—291.
- [6] Petzold, K.: Das thermische Verhalten von Bauwerken bei periodischem und sprungförmigem Lastengang (Beitrag zur bauklimatischen Bewertung leichter Bauweisen). Vortrag auf der Fachtagung Lüftungs- und Klimatechnik der KDT am 15./16. April 1971 in Dresden.
- [7] Maltry, W.: Beitrag zur Stallklimamessung sowie zur Auswertung und Darstellung der Meßergebnisse. Luft- und Kältetechnik 8 (1972) H. 5, S. 245—248. A 9886

(Bild 3). Diesen Einfluß der Temperatur kann man sich durch einen Vergleich der im Futter aufgenommenen Energie mit der an die Umgebung abgegebenen Energie verdeutlichen (Bild 4). Die eine Kurve entspricht dem aus dem Futter kommenden Energieumsatz, der wegen der bei höheren Temperaturen geringer werdenden Futteraufnahme immer niedriger wird, die andere Kurve entspricht der Wärmeab-

Bild 1  
Einfluß der Stalllufttemperatur auf die Milchproduktion von Holsteiner und Jersey-Kühen (nach Yeck und Stewart 1959) [2/]

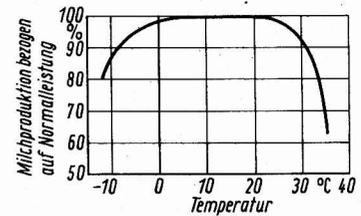


Bild 2  
Einfluß der Stalltemperatur auf die Zu- und Abnahme von Mastschweinen (nach Heitmann und Hughes 1949) [2/];  
— 75...118 kg,  
--- 32...65 kg

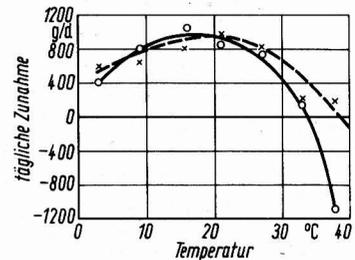


Bild 3  
Einfluß der Stalltemperatur auf den täglichen Futteraufwand von Mastschweinen 75...118 kg (nach Sörensen und Moustgard 1961) [2/]

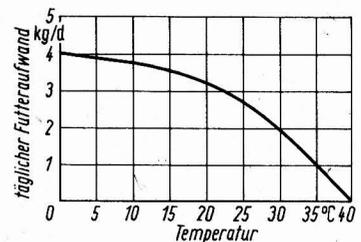
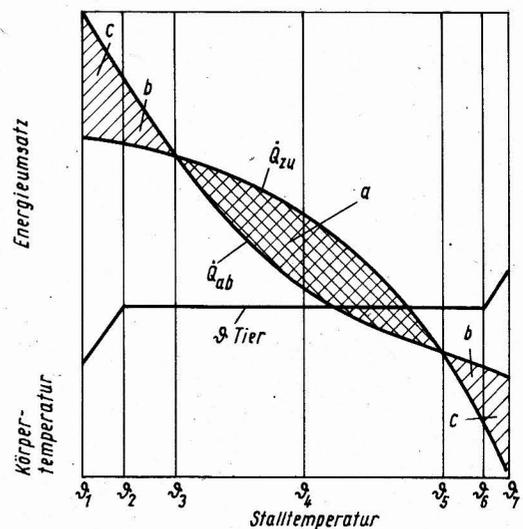


Bild 4  
Einfluß der Stalltemperatur auf den Energieumsatz, schematisch [3/]; a positive tierische Leistung, b negative tierische Leistung, c letaler Bereich



gabe des Tieres, insbesondere durch Konvektion aufgrund der Temperaturdifferenz zwischen Tieroberfläche und Stallluft. Im Bereich der positiven Differenz hat das Tier Leistungsvermögen, außerhalb der Schnittpunkte nicht /4/.

Außerhalb bestimmter Grenzen ist das Tier nicht mehr auf die Dauer lebensfähig. Die hier nur angedeuteten Zusammenhänge zwischen tierischer Leistung und Stallklima sind das Ergebnis außerordentlich umfangreicher und sorgfältiger Untersuchungen in speziellen Klimabilaboratorien.

### 3. Optimierung des Stallklimas im Winter für Mastschweine

Das Problem wird vereinfacht und reduziert auf die Optimierung der Aufwendungen an Futter und Heizenergie für die Aufwärmung einer Winterluftfrate von  $20 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{Tier}$  von Außenlufttemperatur auf die jeweils erforderliche Zulufttemperatur, um den wesentlichen Kern der Aussage hervorzuheben. Energiewirtschaftliche Zusammenhänge lassen sich am besten durch sogenannte Charakteristiken deutlich machen, das sind Diagramme, deren eine Koordinate den Aufwand und deren andere Koordinate den Nutzen eines bestimmten Energieumsetzungsprozesses repräsentiert.

Solche Diagramme haben sich z. B. für thermodynamische Kreisprozesse (Ottomotor, Dampfturbine) hervorragend bewährt. Betrachtet man auch die Tierproduktion als Energieumsetzungsprozeß, so stellt die tierische Leistung, z. B. die tägliche Zunahme, den Nutzen und der Futterverbrauch den zunächst allein betrachteten Aufwand dar. Aus den bekannten an Schweinen gewonnenen Zusammenhängen (Bilder 2 und 3) läßt sich durch eine einfache Umrechnung die Futterverbrauchscharakteristik gewinnen (Bild 5). Das günstigste Verhältnis von Nutzen zu Aufwand ergibt sich darin als Berührungspunkt der Nullpunktgeraden an die Kurve. Der Kurve sind Temperaturpunkte zugeordnet. Man erkennt, daß bei zu tiefen Temperaturen der Futterverbrauch bei sinkender Zunahme steigt, und daß bei zu hohen Temperaturen sowohl Zunahme als auch Futterverbrauch sinken. Die Zunahme sinkt dabei aber stärker als der Futterverbrauch.

Von ganz besonderem Interesse ist die Analyse der Summe der Aufwendungen aus Futter- und Heizenergie bei tiefen Außentemperaturen in ihrem Einfluß auf die tierische Leistung. Um zunächst rein kalorische Aussagen treffen zu können, wurde bei der Durchrechnung des gewählten Beispiels (Schweineendmast) noch nicht die unterschiedliche Wertigkeit der Energieträger „Futter“ und „Brennstoff“ oder „Dampf“ berücksichtigt, sondern stark vereinfachend angenommen, daß eine Kilokalorie aus dem Futter mit einer Kilokalorie Heizungsenergie direkt vergleichbar ist. Das für  $-20^\circ\text{C}$ ,  $-10^\circ\text{C}$  und  $0^\circ\text{C}$  Außentemperatur ermittelte Ergebnis gestattet außerordentlich bedeutsame prinzipielle Rückschlüsse auf den großen positiven Einfluß der Heizung (Bild 6). Obwohl eine etwas größere als der TGL 29084 entsprechende Winterluftfrate gewählt wurde ( $20$  statt  $15 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{Tier}$ ), beträgt selbst bei  $-20^\circ\text{C}$  Außenlufttemperatur die Heizenergie nur einen Bruchteil der Futterenergie; die fühlbare Wärmeabgabe der Tiere wurde bei der Wärmebilanz berücksichtigt. Mit der zusätzlichen Heizenergie wird eine zusätzliche Zunahme erreicht (im Bild 6 links unten dargestellt), wobei das Verhältnis Nutzen zu kalorischem Aufwand bis etwa  $24^\circ\text{C}$  Stalllufttemperatur günstiger ist als für die Summe aus Futter und Heizung bei optimaler Stalllufttemperatur. Das bedeutet zumindest für das untersuchte Beispiel Schweineendmast im Winter:

- Jede Kilokalorie Heizungsenergie, die zur Heizung auf mindestens  $15^\circ\text{C}$  Stalllufttemperatur eingesetzt wird, bringt eine größere tierische Mehrleistung als eine Kilokalorie aus dem Futter
- Heizungsenergie ersetzt somit nicht nur einen Teil der Futterenergie, sondern erhöht noch deren Nutzeffekt
- nur durch zusätzliche Heizung kann die Zunahmeleistung je Tierplatz bei tiefen Außentemperaturen auf gleichbleibend hohem Niveau gehalten werden

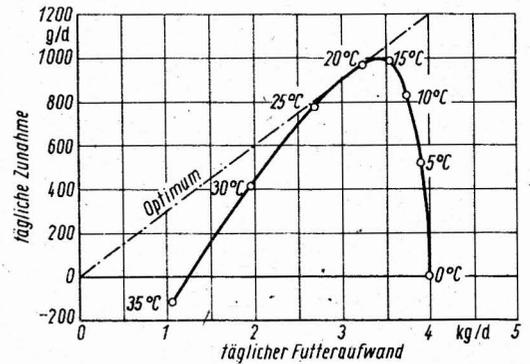


Bild 5. Futteraufwand und Zunahme bei Mastschweinen  $75 \dots 118 \text{ kg}$  (mit den Zahlenwerten von Bild 2 und 3)

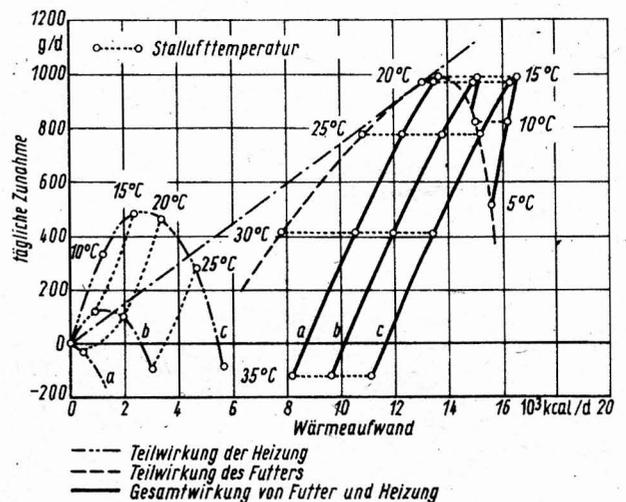


Bild 6. Wärmeaufwand durch Futteraufnahme und Heizung sowie tägliche Zunahme; Mastschweine  $75 \dots 118 \text{ kg}$ , Luftfrate  $20 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{Tier}$ ; fühlbare Wärmeabgabe nach /5/; Außenlufttemperatur: a  $0^\circ\text{C}$ , b  $-10^\circ\text{C}$ , c  $-20^\circ\text{C}$

— energiewirtschaftliche Maßnahmen zur Tierproduktion müssen Heizung und Futter einbeziehen; das Futterbewertungssystem der DDR unterstützt das durch die Kennzeichnung des Futters nach „energetischen Futtereinheiten“.

Die energiewirtschaftlichen Auswirkungen der Heizung sind ebenfalls positiv bei der Schweineaufzucht, bei der Geflügelhaltung und bei der Kälberaufzucht bis zum K1-Bereich. Bei der übrigen Rinderhaltung ist aufgrund der großen zulässigen Temperaturspanne (Bild 1) ein wesentlich geringerer Nutzen zu erwarten. So ist es nach den vorliegenden Erfahrungen nicht wirtschaftlich, den Aufenthaltsbereich der Tiere in Milchviehställen zu beheizen, vorausgesetzt, daß die Raumströmung die an sie gestellten Forderungen erfüllt.

### 4. Optimierung der Raumströmung

Die bisherigen Überlegungen setzten voraus, daß die Frischluft bis zu den Tieren gelangt, und daß die fühlbare Wärmeabgabe der Tiere nutzbar ist, also den Tieren wieder zugeführt wird. Hierfür ist eine einwandfreie Raumströmung erforderlich. Aus zahlreichen Grundlagen- und Praxisuntersuchungen lassen sich folgende Grundsätze für die Gestaltung der Raumströmung aufstellen /6/:

- Die Zuluft muß einen Mindestimpuls haben, damit der Luftstrahl den Tierbereich erreichen und durchspülen kann.

- Für die Erzeugung dieses Mindestimpulses ist eine bestimmte Mindestenergie erforderlich, die in industriemäßigen Anlagen der Tierproduktion nur durch zuluftseitige Lüfter dem Luftstrahl übertragen werden kann.
- Nur bei zweckmäßiger Gestaltung des Zuluftstrahls ist eine ausreichende Vermischung der kalten Außenluft mit der warmen Stallluft gewährleistet, die für das Vermeiden von Zugerscheinungen notwendig ist.
- Der Mindestimpuls hat im Sommer wie im Winter gleiche Größe, obwohl unterschiedliche Außenluftstraten vorgeschrieben sind; im Winter muß deshalb der Zuluftstrahl einen größeren Stallluftanteil enthalten.

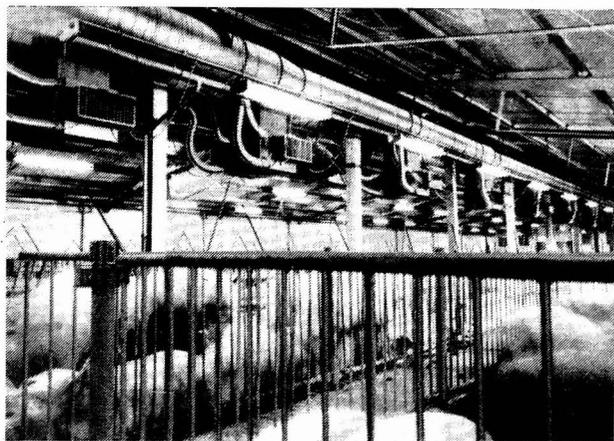
Sobald die Raumströmung fehlerhaft ist, verschlechtert sich das Stallklima vor allem im Tierbereich. Kann mit dem Zuluftstrahl beispielsweise die von den Tieren aufsteigende Warmluft nicht wieder in den Tierbereich zurückgeführt werden, so bilden sich Schichtungen mit tiefen Temperaturen im Tierbereich und hohen Temperaturen unter der Decke aus, was entsprechend den vorhergehenden Darlegungen Ursache von Leistungsminderungen und unwirtschaftlichen Mehraufwendungen an Futter ist.

### 5. Prinziplösungen der Klimagegestaltung

Durch das Kombinat Luft- und Kältetechnik Dresden wird ein ganzes System von Bauelementen produziert, mit dessen Hilfe die meisten lüftungstechnischen Probleme, sowohl bei Angebotsprojekten und Neubauten industriemäßiger Tierproduktionsanlagen als auch bei der Rekonstruktion vorhandener Ställe mit Einebenenhaltung, gelöst werden können. Ein spezielles Stalllüftungssystem, das SL-System (Bild 7), wurde 1973 durch die Zentrale Prüfstelle für Landtechnik in einem 1000er-Milchviehstall geprüft. Es erfüllt die erwähnten Grundsätze und Forderungen durch folgende Konstruktionsmerkmale:

- ein im Winter wie im Sommer konstanter Primärluftstrom induziert nach dem Injektorprinzip einen Sekundärluftstrom im SL-Gerät, der im Sommer aus Außenluft, im Winter aus Stallluft besteht; eine kontinuierliche Außenluftstromanpassung zwischen den beiden extremen Betriebsweisen erfolgt durch Luftklappen
- dem Zuluftstrom wird eine solche Geschwindigkeit erteilt, daß eine einwandfreie Durchspülung des Stallraumes einschließlich des Aufenthaltsbereichs der Tiere gewährleistet ist, so daß die fühlbare Wärmeabgabe der Tiere voll genutzt wird; in Ställen mit SL-Geräten herrscht praktisch eine einheitliche Temperatur ohne Temperaturschichtung

Bild 7. Mit SL-Geräten D 22 ausgerüsteter Schweinemaststall; von der Primärluftleitung werden die SL-Geräte über Flexschläuche mit Primärluft versorgt (Foto: ILK Dresden)



- der Primärluftstrom wird im Winter durch Wärmeübertrager auf die erforderliche Zulufttemperatur aufgeheizt, womit für den Stall die jeweilige Optimaltemperatur erreichbar ist
- Heizung und Sekundärluftklappenverstellung sind mit der Stalltemperatur als Regelgröße voll automatisierbar.

Die Kosten für eine Lüftungsanlage nach dem SL-System sind höher als z. B. für eine einfache Firstentlüftung. Die Mehraufwendungen sind jedoch im Vergleich zu dem damit erzielbaren höheren Nutzen durchaus vertretbar. Alle lüftungstechnischen Einrichtungen müssen gut gegen Korrosion geschützt sein, weil Kondensationserscheinungen auftreten. Die Wahl des zweckmäßigsten Energieträgers erfordert eine gesonderte Betrachtung. Zur Entscheidungsfindung trägt eine Analyse der Einsatzhäufigkeit der Heizung bei. Im 60-jährigen Mittel (Potsdam) sind 17,0 Prozent der Zeit des Jahres kälter als 0 °C, 5,0 Prozent kälter als -5 °C, 1,5 Prozent kälter als -10 °C, nur 0,36 Prozent kälter als -15 °C und gar nur 0,037 Prozent kälter als -20 °C. Da sich nach den durchgeführten Berechnungen eine Beheizung von Schweinemastställen (Endmast) erst bei Außenlufttemperaturen unter etwa -5 °C wirklich lohnt, ergibt sich für die Heizung eine recht niedrige jährliche Einsatzzeit von nur 2 bis 3 Wochen im Durchschnitt sowie ein niedriger Gesamtenergieverbrauch. Deshalb sind solche Heizungen zweckmäßig, die niedrige Investkosten mit guter Regelbarkeit verknüpfen. Der Energiepreis je kcal Heizenergie spielt gegenüber dem Preis je kcal Futterenergie eine geringere Rolle.

### 6. Zusammenfassung

Die naturwissenschaftlich-technischen Zusammenhänge zwischen Stallklima, tierischer Leistung, Futteraufwand und Energieaufwand machen es dringend erforderlich, den Nutzen der Tierproduktion als Ergebnis eines ganzen Komplexes von Einflußgrößen aufzufassen. Für die Schweineendmast wurde nachgewiesen, daß bei tiefen Außenlufttemperaturen die Heizenergie, die zur Erhöhung der Stallufttemperatur eingesetzt wird, bei sinnvoller Anwendung den Nutzeffekt der im Futter enthaltenen Energie beträchtlich verstärkt. Energiewirtschaftliche Analysen in Tierproduktionsanlagen müssen diese Zusammenhänge berücksichtigen. Bedingung für das Umsetzen der energetischen Aufwendungen in tierische Leistung ist eine einwandfreie Raumströmung. Erst die wirtschaftliche Optimierung von Futter-, Heizungs- und Lüfterantriebsenergie garantiert hohe tierische Leistungen bei niedrigem spezifischen Gesamtaufwand. Mit den in der DDR produzierten Lüftungseinrichtungen stehen industriell gefertigte Lüftungssysteme zur Verfügung, mit denen die meisten Stallklimaprobleme lösbar sind.

### Literatur

- /1/ TGL 29084 — Landwirtschaftsbau, tierphysiologische Angaben und Forderungen zur Stallklimagegestaltung; ab 1. April 1975 verbindlich.
- /2/ Mothes, E.: Stallklima. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag 1973.
- /3/ Winter, U.: Einflüsse der Stallklimatisierung auf die tierische Leistung. IfM Potsdam-Bornim 1974 (unveröffentlicht).
- /4/ Lyhs, L.: Der Wärmehaushalt landwirtschaftlicher Nutztiere. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag 1971.
- /5/ Kaul, H.-G.; Kirschner, K. u. a.: Stalllüftung — Berechnungsgrundlagen. Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim 1970.

A 9873