

# Luftführung im Tierbereich bei lokaler Klimagegestaltung in Milchviehställen

Dipl.-Ing. S. Kühnhausen, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

## Verwendete Formelzeichen

$A_0$	m <sup>2</sup>	freie Fläche am Luftauslaß
$a_B$	mm	Abstand des Luftauslasses zur Box
$a_L$	mm	Abstand des Luftauslasses zur Liegefläche
$d$	mm	Durchmesser des Luftauslasses
$h$	mm	Höhe des Luftauslasses
$i_0$	kg/m <sup>2</sup> · s <sup>2</sup>	Strahlimpuls, bezogen auf das Raumvolumen
$m$	—	Mischzahl/Turbulenzzahl
$T$	s	Zeit
$t_{AO}$	°C	Oberflächentemperatur am Modell-Tierkörper
$t_0$	°C	Objekttemperatur/Temperatur der Isothermen
$t_H$	°C	Hauttemperatur des Rindes
$t_R$	°C	Raumtemperatur
$t_z$	°C	Zulufttemperatur
$\Delta t$	K	Temperaturdifferenz
$\dot{V}$	m <sup>3</sup> /h	Volumenstrom
$w_0$	m/s	Luftgeschwindigkeit am Luftauslaß
$w_x$	m/s	effektive Luftgeschwindigkeit im Strahl
$x$	mm; m	Lauflänge des Zuluftstrahls; Meßebene
$x_0$	mm; m	Kernlänge des Zuluftstrahls
$x_s$	mm	Lauflänge des Zuluftstrahls auf der Strahlachse
$y$	mm	Strahlablenkung; Meßebene
$\epsilon$	—	Emissionsgrad
$\varphi_R$	%	relative Luftfeuchte des Raumes
$\varphi_z$	%	relative Luftfeuchte der Zuluft

bekannter Bauart (Rohr- bzw. Kanalsysteme, SL-System) notwendig, um im Tierbereich einen Energie- und Stoffaustausch zu gewährleisten.

Eine Durchströmung des Raumes wird in den meisten Fällen durch Temperaturunterschiede zwischen Zuluft und Raumluft und durch die in der Anlage vorhandenen Versperrungselemente (Standausrüstung, Fütterungseinrichtung, Trennwände) beeinflusst. Sie verhindern z. T. ein Durchströmen des Tierbereichs [2].

Zur Ausbildung einer Raumwalze und eines gerichteten Bahnverlaufs von Zuluftstrahlen ist, bezogen auf das Raumvolumen, ein bestimmter Strahlimpuls erforderlich. In [2] wird für entsprechende Höhen von Versperrungselementen im Raum ein Mindeststrahlimpuls gefordert. Er ist mit  $i_0 = 10 \cdot 10^{-3} \dots 30 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^2$  festgelegt, um eine ausreichende Durchströmung des Raumes ( $i_0 \geq 10 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^2$ ) zu gewährleisten. Bei zu großem Strahlimpuls ( $i_0 \geq 30 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^2$ ) werden ein hoher Energieverbrauch und Zuggefahr im Tierbereich hervorgerufen. Die Schaffung einer Raumwalze zur stabilen Luftführung im Stall, besonders in der Aufenthaltszone der Tiere, erfordert einen großen Luftvolumenstrom und somit einen hohen Energieverbrauch für die Antriebsleistung der Ventilatoren.

Beim Prinzip der lokalen Klimagegestaltung wird auf die Ausbildung einer Raumwalze verzichtet. Die Luftzuführung erfolgt im unmittelbaren Funktionsbereich und erfordert eine dem Tier zugeordnete optimale Luftführung [3].

ausgebildetes Gebiet (Anlaufstrecke) und in ein Gebiet des ähnlich bleibenden Zustands. Die Länge der Anlaufstrecke und die mittleren Charakteristika in diesem Bereich sind vom Turbulenzniveau am Austrittselement abhängig.

— Bei Erhöhung der Anfangsturbulenz wird der Geschwindigkeitsabbau im Strahl beschleunigt, weil ein größerer Anteil der Freistrahlernergie von der Hauptbewegung in die Schwankungsbewegung übergeht und die Strahlausbreitung verstärkt.

— Nach Erreichen der Grenze der Anlaufstrecke streben alle Freistrahlen einem ähnlich bleibenden Zustand zu. Die mittleren Charakteristika nähern sich vom Anfangsturbulenzniveau unabhängigen asymptotischen Werten.

— Nach etwa  $10 \times d$  vom Strahlursprung aus streben die mittleren Charakteristika asymptotischen Werten zu.

Eine Erhöhung des Turbulenzniveaus beeinflusst dennoch besonders die Mischzone der Freistrahlen.

Bei der lokalen Klimagegestaltung kann dieser Effekt nutzbringend angewendet werden. Da die Luftauslaßelemente im unmittelbarem Tierbereich angeordnet sind, kann der zugeführte Zuluftvolumenstrom den Energie- und Stoffaustausch günstig beeinflussen.

Turbulente Strömungen (große Re-Zahlen) fördern durch ihre innere Wirbelströmung den Wärmeübergang zwischen Tierkörper und umgebender Luft. Somit kann im Sommer die abgegebene Wärmemenge vom Tier auf kurzem Wege abgeführt werden. Der Wärmeübergang hängt weiterhin in starkem Maß von der Art der Gesamtströmung, deren Anströmwinkel u. a. m. ab [5].

Um die örtliche Zu- und Abführung von Luft genauer berechnen und einrichten zu können, sind besonders die Gesetze der Geschwindigkeits-, Temperatur- und Konzentrationsänderungen sowie die geometrischen Abmessungen des Strahls bei seiner Ausbreitung zu beachten [6].

Für den Bereich der lokalen Klimagegestaltung am Tierplatz lassen sich drei Gruppen von Einflußgrößen zusammenfassen:

- **Einflußgrößen des Zuluftstrahls**
  - Zuluftgeschwindigkeit
  - effektive Zuluftgeschwindigkeit im Strahlbereich

## 1. Aufgabenstellung

Die Raumströmung in Ställen bestimmt entscheidend das Mikroklima im Aufenthaltsbereich der Tiere. Durch die Luftströmung im Tierbereich und die vorhandenen Wärme- und Stoffquellen bzw. Wärme- und Stoffsenken werden vor allem das Luftgeschwindigkeitsfeld sowie das Temperatur- und Konzentrationsfeld beeinflusst [1]. Diese Stallklimaparameter erfordern zur Sicherung maximaler Tierleistungen die Einhaltung optimaler Normen. Unter dem Begriff Raum(durch)strömung wird im allgemeinen die Bewegung der Luft innerhalb eines Raumes verstanden [1].

Zur Gewährleistung dieser Raumströmung ist in bisher in der Praxis realisierten Systemlösungen von Stalllüftungsanlagen nach dem Prinzip der Strahl Lüftung eine Raumwalze ausgebildet worden. Diese ist bei Strahl Lüftungssystemen

## 2. Strömungstechnische und aerodynamische Grundlagen

Auswahlkriterien für den Einsatz von Luftauslaßelementen im System der lokalen Klimagegestaltung sind die Gewährleistung eines schnellen Geschwindigkeitsabbaus in Strahlrichtung, ein genügend großer Luftdurchsatz (Volumenstrom) und ein dem Tier angemessener Temperaturab- bzw. -aufbau im Strahlprofil. Dies bedeutet, daß Luftauslaßelemente mit einem großen Turbulenzfaktor eingesetzt werden sollten [3].

In [4] sind in einer Zusammenfassung experimenteller Forschungen verschiedener Autoren zur Charakteristik turbulenter Freistrahlen folgende Aussagen abgeleitet worden:

— Freistrahlen unterteilen sich in ein nicht-

Tafel 1. Funktionelle Abhängigkeiten der Einflußgrößen bei der lokalen Klimagegestaltung

Einflußgrößen des Zuluftstrahls	Einflußgrößen des Raumes	Einflußgrößen des Tieres
$w_0 = f(V_0; A_0)$	Strahlbereich = f (Körper im Strahl)	Strömungshindernis in Strahlrichtung = f (Lage des Tierkörpers)
$w_x = f(V_0; A_0; m; \Delta t)$	Intensität der Wärmequellen und -senken = f (Lage und Verteilung)	= f (Lage des Tierkörpers = f (stehendes, fressendes, liegendes Tier)
$\Delta t = f(t_R; t_z)$	Intensität der Stoffquellen und -senken = f (Lage und Verteilung)	Lage des Tierkörpers = f (parallel oder schräg zur Strömungsrichtung)
$y = f(w_0; \Delta t; h \text{ bzw. } d; x)$	Raumdurchspülung = f (Lage und Wirksamkeit der Zu- und Abluftelemente)	= f (Tier ohne Einfluß auf Strahlausbildung = f (Technologie des Arbeitsablaufs im Tagesgang)
$m = f(A_0; \text{Gestaltung})$	effektive Raumlast im Tierbereich = f (Speicherungsvermögen der Materialien)	
$A_0 = f(\text{Gestaltung})$		

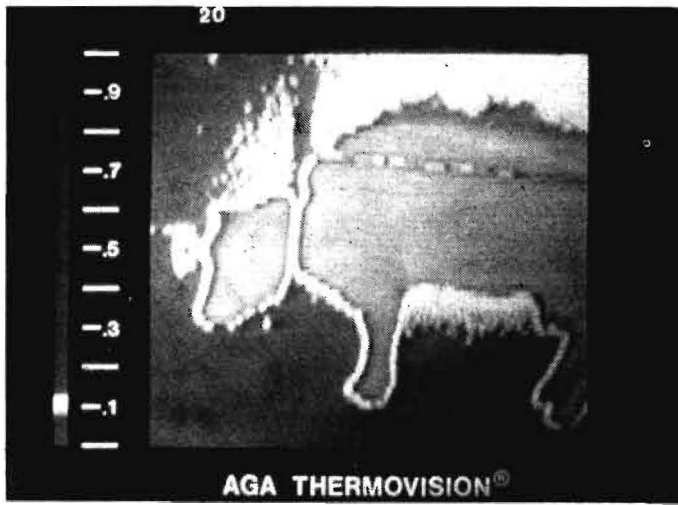


Bild 1. Thermogramm ( $t_R = 18,7^\circ\text{C}$ ;  $t_Z = 17,1^\circ\text{C}$ ;  $\Delta t = 1,6\text{ K}$ ;  $t_0 = 22,2^\circ\text{C}$ )

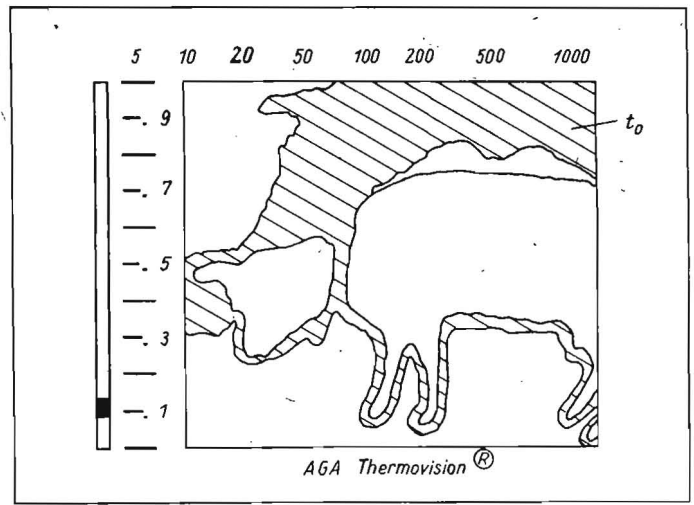


Bild 2. Thermogramm ( $t_R = 20,5^\circ\text{C}$ ;  $t_Z = 23,0^\circ\text{C}$ ;  $\Delta t = 2,5\text{ K}$ ;  $t_0 = 23,5^\circ\text{C}$ )

- Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Zuluft
- effektive Temperatur im Strahlbereich
- Strahlableitung
- freie Fläche am Luftauslaß
- Strahlurbulenz als Kennzeichen der Auslaßform

#### — Einflußgrößen des Raumes

- Versperrungselemente im Strahlbereich
- Intensität, Lage und Verteilung der Wärmequellen und -senken (Wand- bzw. Liegeflächentemperatur, Temperatur der Standausrüstung und Fütterungstechnik sowie des Futters; feuchte Flächen), Stoffquellen und -senken
- Lage und Wirksamkeit der Zu- und Abluftelemente
- Wärmeleitfähigkeit und Speichervermögen der Materialien im unmittelbaren Tierbereich.

#### — Einflußgrößen des Tieres

- Lage des Tierkörpers parallel zur Strömungsrichtung (stehend, liegend, fressend)
- Lage des Tierkörpers schräg (in einem bestimmten Anstellwinkel) zur Strömungsrichtung (stehend, liegend, fressend)
- Tier außerhalb des Strahlbereichs
- Tier im Strahlbereich beeinflusst Wärme- und Stoffaustausch in Tiernähe.

Weitere Ausführungen zu Einflußgrößen und Kriterien der lokalen Klimagegestaltung sind in [7] enthalten.

### 3. Versuche am Einzeltierplatz

#### 3.1. Versuchsprogramm und Versuchsaufbau

Entsprechend den verschiedenen Einflußgrößen auf das Raumklima des unmittelbaren Tierbereichs können die Abhängigkeiten der einzelnen Parameter in drei Gruppen eingeteilt werden. Grundsätzlich sind diese Abhängigkeiten bei isothermen und nichtisothermen Strömungsverhältnissen vorzufinden (Tafel 1).

Da die einzelnen Einflußgrößen sehr stark voneinander abhängig sind, wurden aus strömungstechnischer und thermodynamischer Sicht lediglich die Luftgeschwindigkeit am Luftauslaß  $w_0$  und die Temperaturdifferenz zwischen Zuluft- und Raumluft  $\Delta t$  variiert.

Im vorliegenden Beitrag soll hauptsächlich auf den Strömungsverlauf und den Einfluß der „Wärmequelle“ und des „Störkörpers“ Tier auf das Strahlverhalten eingegangen werden.

Die Versuchsdurchführung erfolgte an einem Einzeltierplatz ohne Tier, mit Tier und mit Modell-Tierkörper [7].

#### 3.2. Meßtechnik und Untersuchung des Strömungsverlaufs

Luftströmungen sind für den Menschen spürbar, jedoch visuell kaum nachzuweisen. Für die Festlegung der Orte des Zuluftaustritts und der Abluftefassungselemente sowie zur Darstellung der Einflußnahme des Zuluftstrahls im Tierbereich kann die Zuluft mit Rauch angereichert werden. Sie können fotografisch festgehalten und zur Auswertung sowie Charakteristik des Strahlprofils hinzugezogen werden.

Die Anreicherung der Zuluft mit Rauch kann mit dem Nebelgerät „Laurin“ erfolgen. Die Turbulenzbewegungen des Zuluftstrahls sind an Wollfäden erkennbar, die am Modell-Tierkörper befestigt wurden.

Befindet sich im Strahlbereich eine Wärmequelle, so beeinflusst diese in starkem Maß das Strömungsprofil. Die Grenzparameter zwischen diesem Körper und umgebender Luft sind meßtechnisch sehr schwer bzw. nur unter großen meßtechnischem Aufwand zu ermitteln. Möglichkeiten zur Erfassung und Interpretation solcher Stoff- und Energieaustauschprozesse sowie die Beeinflussung der Wärmequellen auf die unmittelbare Umgebung bot auf der Grundlage von Literaturhinweisen die Thermovisionsmessung [8, 9].

Die Ausrüstung besteht aus den Bauteilen Infrarot-Kamera, Wiedergabegerät, Batterie oder Netzteil. Die Thermogramme (Bilder 1 und 2),

die in  $T < 0,1\text{ s}$  auf dem Wiedergabegerät zu sehen sind, können mit Foto- und Filmkameras festgehalten werden [10].

Aus einem Vergleich vom Emissionsgraden verschiedener Stoffe wurde für den Versuch der Rechenwert  $\epsilon = 0,98$  ausgewählt. Dieser Wert entspricht den Materialien Graphit (gefaltete Oberfläche), Lack (matt schwarz) und menschliche Haut. Als Versuchstier wurde eine „einfarbige“ schwarze Kuh gewählt, um gleiche Emissionsgrade zu gewährleisten.

### 4. Versuchsergebnisse

#### 4.1. Grundsätzliches

Zwei der zahlreichen Versuche zum Geschwindigkeits-, Temperatur- und Strömungsprofil sollen näher beschrieben werden. Da im Ergebnis von 46 verschiedenen Versuchsanordnungen das Auslaßelement Draußauslaß [7] strömungstechnisch und in der Anordnung zum Tierbereich die günstigsten Ergebnisse erbrachte, sind die Versuche am Einzeltierplatz ohne und mit Tier bzw. Modell-Tierkörper dargestellt.

#### 4.2. Einzeltierplatz ohne Tier

Bei einer Zuluftgeschwindigkeit  $w_0 = 1,0\text{ m/s}$ , einer Temperaturdifferenz zwischen Zuluft und Raumluft von  $\Delta t = 0,5\text{ K}$  und der Anordnung des Luftauslaßelements im vorderen Tierbereich (Futterkrippe) ergibt sich folgendes Geschwindigkeitsprofil in der y-Ebene (Bild 3a): Die Zuluftgeschwindigkeit beträgt in einem Abstand  $x \leq 250\text{ mm}$  vom Auslaß  $w_0 = 0,9 \dots 1,0\text{ m/s}$ , d. h. die Kernzone des Zuluftstrahls hat eine Länge von  $x \leq 250\text{ mm}$

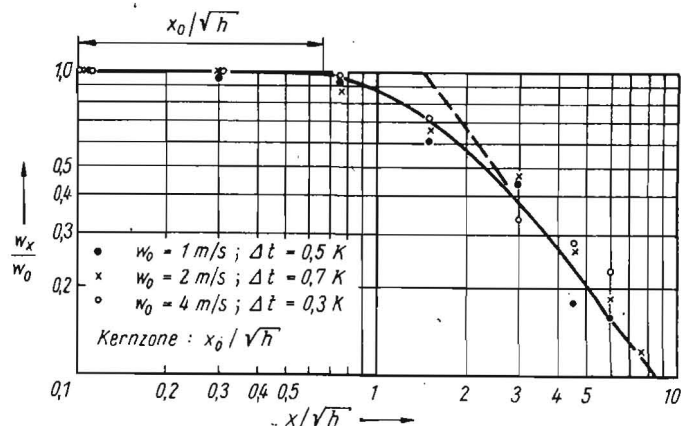


Bild 4. Abnahme der axialen Luftgeschwindigkeit mit der Entfernung  $x$  bei Luftstrahlen aus dem Draußauslaß

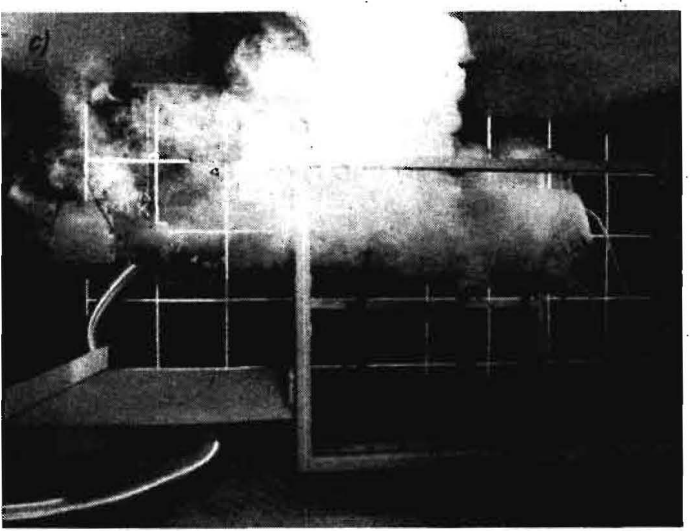
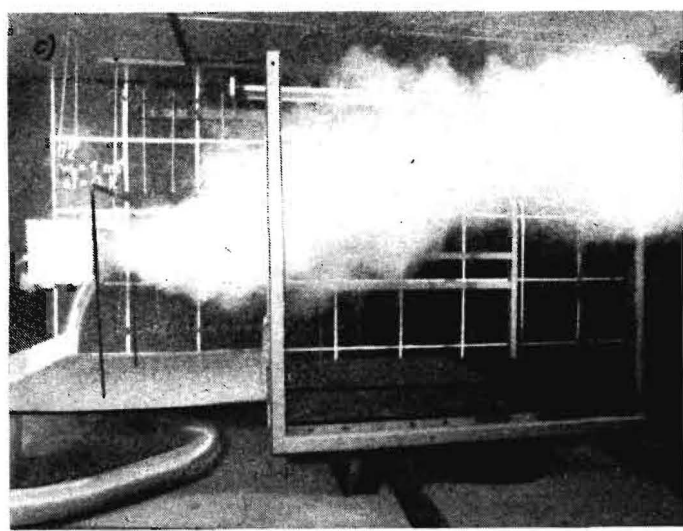
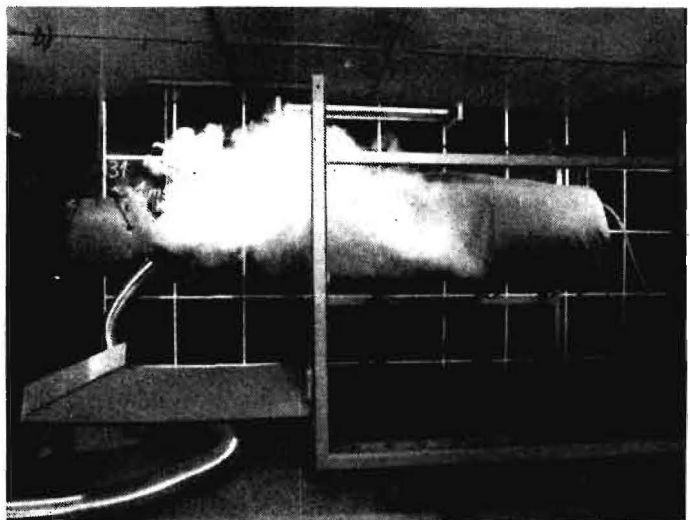
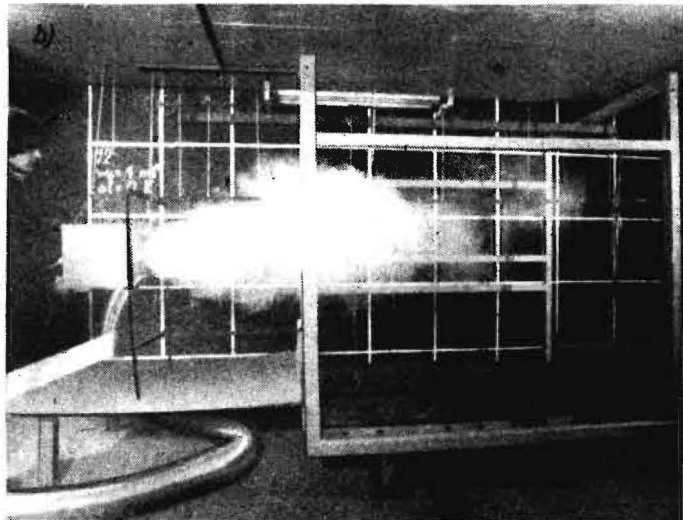
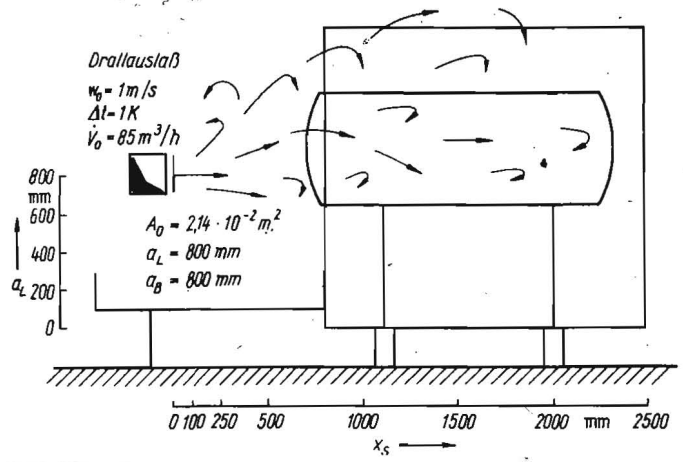
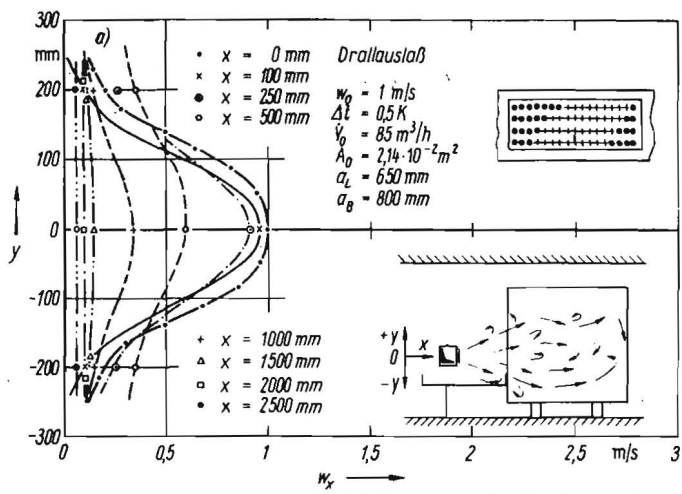


Bild 3. Geschwindigkeitsprofil und Strömungsverlauf am Drallauslaß im quasi-isothermen Zustand in der y-Ebene ( $t_R = 14,1^\circ\text{C}$ ;  $t_Z = 14,6^\circ\text{C}$ ;  $\varphi_R = 67\%$ ;  $\varphi_Z = 65\%$ );  
 a) Geschwindigkeitsprofil  
 b) und c) Strömungsverlauf

Bild 5. Strömungsverlauf am Drallauslaß im schwach nichtisothermen Zustand mit Modell-Tierkörper ( $t_R = 17,5^\circ\text{C}$ ;  $t_Z = 18,5^\circ\text{C}$ ;  $\varphi_R = 49\%$ ;  $\varphi_Z = 64\%$ );  
 a) Strömungsverlauf (schematisch)  
 b) und c) Strömungsverlauf

(Bild 4). Bei  $x = 500$  mm beträgt die Zuluftgeschwindigkeit nur noch  $w_x \approx 0,6$  m/s und verringert sich bei  $x > 1000$  mm auf Werte  $w_x < 0,3$  m/s. Diese Luftgeschwindigkeiten entsprechen denen im Standard TGL 29084/01 geforderten Größenordnungen im Tierbereich [10].

In den Bildern 3b und 3c ist die Ausbildung des Strömungsprofils bei quasi-isothermem Zustand ( $t_Z > t_R$ ;  $\Delta t = 0,5$  K) erkennbar. Der Tierbereich wird bei Zuluftgeschwindigkeiten

$w_0 = 1$  m/s noch gut durchströmt. Der Drallauslaß gewährleistet eine gute Turbulenz und notwendige Lauflänge des Zuluftstrahls.

4.3. Einzeltierplatz mit Modell-Tierkörper  
 Im Bild 5 ist der Strömungsverlauf am Modell-Tierkörper im quasi-isothermen Zustand bei gleicher Luftauslaßform (Drallauslaß),  $w_0 = 1,0$  m/s und  $\Delta t = 1,0$  K dargestellt. Der Tierkörper, der strömungstechnisch als Störkörper wirkt, ruft im vorderen Bereich

große Turbulenzen und eine Strahlablenkung hervor. Die Wärmequelle Tier (Oberflächentemperatur  $t_{AO} \approx 22^\circ\text{C}$ ) lenkt aufgrund des thermischen Auftriebs den Zuluftstrahl nach oben ab (Bilder 5b und 5c). Der Strahl ist im Tierbereich noch gut ausgebildet und erfährt infolge des geringen Impulses und der starken Turbulenz nur etwa  $\frac{2}{3}$  des Tierkörpers. Eine höhere Anordnung des Zuluftauslasses bei  $a_L > 800$  mm würde den Tierbereich bei nicht-isothermen Strömungszuständen ( $t_Z > t_R$ ) nicht



mehr erfassen (Sommerfall): Da jedoch gerade im Sommer ein größerer Luftstrom als im Winter notwendig ist, kann der Tierbereich nur teilweise beeinflusst werden.

#### 4.4. Einzelplatz mit Tier

Im Ergebnis der Versuche ohne und mit Modell-Tierkörper wurden zur Versuchsdurchführung mit Tier das Luftaustrittselement Drallauslaß und eine Zuluftgeschwindigkeit  $w_0 = 2,0 \text{ m/s}$  festgelegt.

Das Luftauslaßelement befand sich in der Mitte der Futterkrippe ( $a_B = 500 \text{ mm}$ ) in Höhe der Tierkörperlängsachse ( $a_L = 650 \text{ mm}$ ). Die Zulufttemperatur betrug  $t_Z = 17,1^\circ\text{C}$ , die Raumlufttemperatur  $t_R = 18,7^\circ\text{C}$  und die Hauttemperatur des Tieres  $t_H \approx 26,5^\circ\text{C}$ . Einerseits besteht eine Temperaturdifferenz zwischen Raumluft und Zuluft von  $\Delta t = 1,6 \text{ K}$  und zum anderen eine Temperaturdifferenz zwischen Raumluft und Tierkörper von  $\Delta t \approx 8 \text{ K}$ .

Die Temperaturdifferenz zwischen Zuluft und Tierkörper bringt ein noch größeres Temperaturgefälle ( $\Delta \approx 10 \text{ K}$ ) mit sich. Zwischen zuströmender Luft und Tierkörper findet nun ein Wärmeaustausch statt. Die Zone dieses Energieaustausches ist im Bild 1 in Form der hellen Punkte und Linien zu erkennen. Die

Temperatur der gezeigten Isothermen kann mit  $t_0 = 22,2^\circ\text{C}$  berechnet werden und zeigt die Einflußnahme des Zuluftstrahls auf den Energieaustausch am Tierkörper. Untersuchungen dieser Art geben neben dem Strömungsverlauf noch Aussagen in den Randzonen Tier-Raumluft und somit über die Intensität des Energieaustausches.

#### 5. Zusammenfassung

Die weitere Bearbeitung der Aufgabenstellung zur Nutzung der vorhandenen Wärmequellen und -senken in Tierställen erfordert eine genaue Analyse aller Lastkomponenten und Austauschprozesse. Da diese Stoff- und Energieaustauschprozesse zum großen Teil über das Medium Luft erfolgen, sind Untersuchungen zum Strahlverhalten von Luftauslässen und zum Strömungsprofil am Tierkörper notwendig. In mehreren Versuchen mit und ohne Tier wurden die günstigsten Orte des Luftauslasses und die Form der Luftauslaßelemente ermittelt. Die Aussagen in [7] können nach Abschluß der Auswertungen bestätigt werden [11].

#### Literatur

[1] Kirschner, K., u. a.: Klimatechnik in Tierproduktionsanlagen. Berlin: VEB Verlag Technik 1976.

- [2] Müller, H.-J.: Stofftransport bei nichtisothermer Raumströmung und unter Einfluß von Versperrelementen. Luft- und Kältetechnik 14 (1978) H. 1, S. 18—20.
- [3] Kühnhausen, S.: Lüftung-Parterre. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Forschungsteilbericht 1978 (unveröffentlicht).
- [4] Hanel, B.: Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß erhöhter Anfangsturbulenz auf die Entwicklung und Ausbreitung von Freistrahlen. Luft- und Kältetechnik 13 (1977) H. 3, S. 123—125.
- [5] Michejew, M. A.: Grundlagen der Wärmeübertragung. Berlin: VEB Verlag Technik 1964.
- [6] Baturin, W. W.: Lüftungsanlagen für Industriebauten. Berlin: VEB Verlag Technik 1959.
- [7] Kühnhausen, S.: Untersuchung zur lokalen Klimagegestaltung in Milchviehanlagen. agrartechnik 29 (1979) H. 11, S. 508—510.
- [8] Herrmann, K.; Genzow, D.: Wärmefotos auf dem Bildschirm betrachtet. Neues Deutschland vom 6./7. Mai 1978, S. 12.
- [9] Engel, F.: Temperaturmessungen mit Strahlungs-pyrometern. Reihe Automatisierungstechnik, Bd. 157. Berlin: VEB Verlag Technik 1974.
- [10] TGL 29084/01 Stallklimagehaltung; Tierphysiologische Angaben zum Stallklima und zur Beleuchtung. Aug. Juni 1977.
- [11] Kühnhausen, S.: Lüftung-Parterre. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Forschungsteilbericht 1979 (unveröffentlicht). A 2655

## Zum Bewegungsverhalten von Zitengummis und deren Einfluß auf den Melkvorgang

Dr. agr. F. Uhmann, Karl-Marx-Universität Leipzig, Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin  
Dr. agr. C. Thalheim, VEB Kreisbetrieb für Landtechnik Dresden, Sitz Ottendorf-Okrilla

### 1. Zielstellung

Zitengummis haben eine wesentliche Bedeutung für den Melkvorgang. Neben dem eigentlichen Milchentzug besteht ihre Hauptfunktion darin, etwa 40 bis 60mal in der Minute die Zitze kurzzeitig vom Melkvakuum zu entlasten. Gleichzeitig soll dabei eine Massage bewirkt werden, um Blutstauungen in der Zitze entgegenzuwirken. Diese Aufgabe erfüllt der Zitengummi dadurch, daß er aus dem geöffneten Zustand einfaltet, eine bestimmte Zeit innerhalb der Pulsation in dieser Stellung verharrt und dann wieder ausfaltet.

Diese Bewegungen des Zitengummis haben eine Reihe weiterer Konsequenzen für den Melkvorgang. So unterbricht z. B. der Zitengummi jeweils beim Einfalten den Milchaustritt aus der Zitze und gibt ihn erst beim Ausfalten wieder frei, wodurch die Zeit für den Milchausfluß innerhalb der Pulsation begrenzt wird [1, 2]. Durch die Ein- und Ausfaltungsbewegungen des Zitengummis entstehen ständig Volumenänderungen des Melkbecherinnenraumes, wodurch Schwankungen des Melkvakuums hervorgerufen werden [3]. Je nach Stärke des Einfaltens des Zitengummis werden unterschiedliche Massagedrücke auf die Zitze ausgeübt und unterschiedliche Teile der Zitze vom Melkvakuum entlastet [4]. Durch die Einfaltbewegung des Zitengummis wird Milch aus der Zitzen- in die Euterzisterne mit einer Geschwindigkeit zurückgepreßt, die 37% der Geschwindigkeit betragen kann, mit der die Milch aus der Zitze in den Melkbecher gemolken wird. Bei diesem Zurückpressen können auch pathogene Erreger aus der keimreichen Zit-

zenzisterne in die Euterzisterne gelangen und so einen negativen Einfluß auf die Eutergesundheit ausüben [3].

Die Zitengummibewegung wird vom Druckverlauf im Melkbecherzwischenraum gesteuert. Als Folge des Wechsels von atmosphärischem Druck und Vakuum in Höhe des Pulsationsvakuums entstehen den Zitengummi belastende und entlastende Druckdifferenzen, wodurch der Zitengummi Ein- und Ausfaltungsbewegungen vollführt.

Voraussetzung für die exakte Steuerung der Zitengummibewegung ist die Kenntnis des Zusammenhangs zwischen Pulsationskurvenverlauf im Melkbecherzwischenraum (oder besser Druckdifferenzverlauf zwischen Melkbecherzwischen- und -innenraum) und Zitengummibewegung. Dieser Zusammenhang wurde in den nachfolgend dargestellten Grundlagenuntersuchungen an Zitengummis unterschiedlicher Schaftkennwerte geprüft. Von besonderem Interesse waren dabei die Fragen, ob der Zusammenhang sowohl beim Ein- als auch beim Ausfalten gleich groß ist, welche Unterschiede zwischen den Zitengummis bestehen und welchen Einfluß Zitzen unterschiedlicher Länge auf den Bewegungsverlauf haben. Mit den Ergebnissen sollten Aussagen dazu getroffen werden, ob aus der Kenntnis des Pulsationskurvenverlaufs und der Höhe des Melkvakuums auf die Zitengummibewegung und daraus resultierend auf die Melkeigenschaften des Zitengummis geschlossen werden kann. Weiterhin wurde erwartet, daß sich aus den Ergebnissen Schlußfolgerungen zum Ver-

gleich von Parametern unterschiedlicher Melkmaschinenfabrikate ziehen lassen.

### 2. Untersuchungsmethodik

Um die Anzahl der Einflußfaktoren auf die Zitengummibewegung möglichst gering zu halten, erfolgte die Messung der Zitengummibewegung in Laboruntersuchungen unter extrem langsamen Ein- und Ausfaltungbedingungen. Bei diesen im weiteren als statische Bedingungen bezeichneten Verhältnissen wurde der Zitengummi stufenweise zum Ein- und Ausfalten geführt, wobei nach jeder Stufung rd. 20 s bis zum Abklingen der Bewegung gewartet und dann erst das Ablesen der entsprechenden Meßwerte vorgenommen wurde. Die stufenweise Bewegung kam durch eine schrittweise Erhöhung oder Verringerung der Druckdifferenz zwischen Melkbecherzwischen- und -innenraum zustande. Aus Gründen eines möglichst einfachen Versuchsaufbaus erfolgte dabei eine Variation des Vakuums im Melkbecherinnenraum bis zu einer maximalen Höhe von 50 kPa, während im Melkbecherzwischenraum konstant atmosphärischer Druck anlag. Die Änderung der Zitengummibewegung wurde über eine Meßuhr erfaßt, deren Fühler durch die Melkbecherhülse auf der Außenwand des Zitengummis aufsaß (Bild 1). Die Wahl des Ortes auf dem Zitengummi erfolgte so, daß er mit dem Punkt übereinstimmte, in dem sich die Zitengummiwände beim Einfalten das erste Mal berührten. Aus der Abhängigkeit des Öffnungsgrades des Zitengummis von der zwischen Melkbecherzwischen- und -innenraum vorhandenen Druckdifferenz wurden sog. Be-