

Zeitschrift: Landtechnik Schweiz
Herausgeber: Landtechnik Schweiz
Band: 51 (1989)
Heft: 12

Artikel: Kaltställe : Klima, Luftraten und Stallausbildung
Autor: Göbel, Wilfried
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1080641>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 04.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

September 1989 373

Kaltställe – Klima, Luftraten und Stallausbildung

Wilfried Göbel

Der Bericht enthält die Ergebnisse über die Klimauntersuchungen in Kaltställen der FAT. Berechnet wurden die Luftraten der Ställe aus Zuluftgeschwindigkeitsmessungen und auch aus den Wasserdampf- und Kohlendioxyddifferenzen von Ab- und Zuluft. Für die Berechnung kam erstmals ein Verfahren zum Einsatz, das fühlbare (sensible) und an Wasserdampf gebundene (latente) Wärmeabgabe unterscheidet, und ihre Abgabe in Abhängigkeit zur Umgebungstemperatur berücksichtigt. Damit lässt sich auch in Kaltställen (nicht oder schwach wärmegedämmt) das Stallklima berechnen. Konden-

sation an Wänden und Decke brachte man ebenfalls mit theoretischen Überlegungen in Einklang. Die Luftraten im Winter müssen in manchen Fällen so gross sein wie im Sommer. Der Bericht ergibt auch die erforderlichen Zuluftquerschnitte und k-Werte an.

Man baut nicht mehr überall konventionell. Kaltställe mit Einstreu, also Ställe ohne Isolation, kommen für Kälber, Rinder und Schweine immer mehr auf. Die Ställe sollen lediglich vor extremen Witterungseinflüssen durch Sonne, Regen, Schnee und Wind schützen. Indem man einerseits bestehende Gebäude in Kaltställ-

le umrüstet und anderseits Kaltställe neu baut, erwartet man Baukosteneinsparungen. Will man aber Tiererkrankungen und Bauschäden vermeiden, müssen sowohl der Planer als auch der Besitzer des Stalles beim Bau und Betrieb verschiedenes beachten.

Untersuchte Ställe

Die Abb. 1 ist ein Querschnitt durch beide untersuchten Ställe, den Kälberstall mit Buchten und Boxen und den Rindermaststall auf Vollspaltenboden. Abb. 2 zeigt die Westseite des Kälberstalles mit den Zuluftöffnungen. Abb. 3 ist der Rindermaststall mit Vollspaltenboden von der Tenne aus gesehen. Tab. 1 gibt alle Rechengrössen der Ställe an.

Im ersten Winter wurde der obere Teil der westlichen Längswand des Kälberstalles durch eine Plastikfolie beinahe ganz geschlossen, so dass nur zwei kurze, schmale Schlitze (total 0,50 m²) unter der Traufe und der Wellbereich des Daches (0,25 m²) als Zuluftöffnungen übrig blieben. Weil sich an den Wänden unter der Strohbühne Kondensat niederschlug, wurde die Bühne mit zwei je 0,1 m² grossen Lüftungsschlitzten versehen.

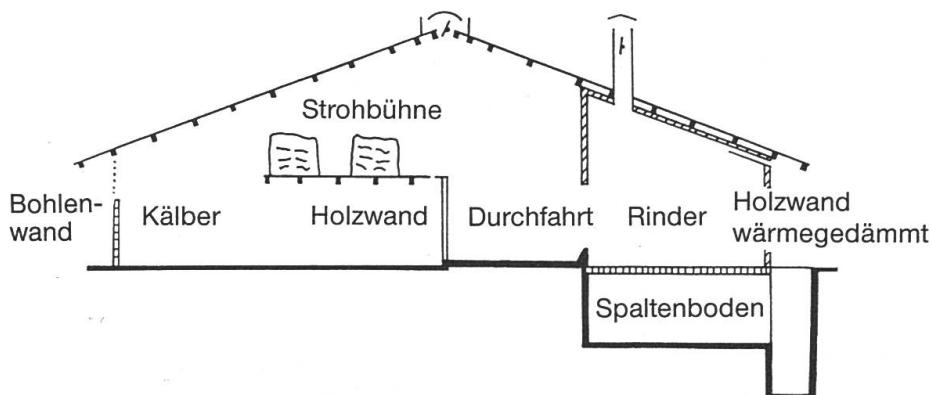


Abb. 1: Querschnitt durch den Kälber- und den Rindermaststall mit Vollspaltenboden der FAT. Beide Ställe befinden sich unter dem gleichen Dach mit weiteren Stallbereichen (allgemeiner Rinderstall). Im Grundriss liegen sie sich diagonal gegenüber.

Im zweiten Winter wurde ein Drittel des oberen Teiles der Westwand mit Fliegengitter versehen

und als verstellbare Öffnung ausgebildet (totale Zuluftöffnung ca. 4 m², im Mittel 1,2 m², Abb. 2).

Im Gegensatz zum Kälberstall ist der Rindermaststall mit Vollspaltenboden wärmegedämmt.

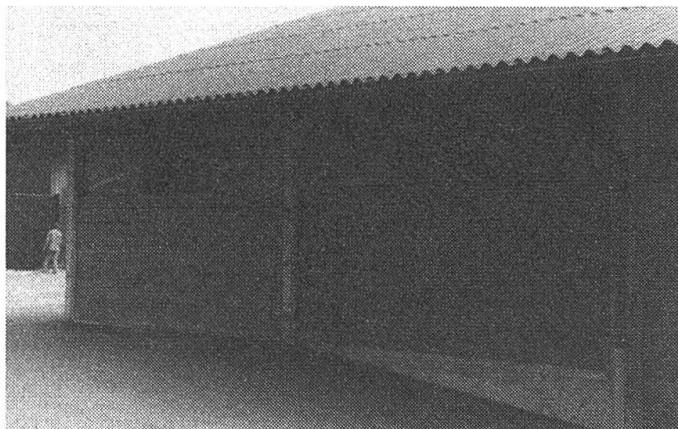


Abb. 2: Kälberstallbereich. Westseite von Süden fotografiert. Doppelschalige Holzwände trennen ihn am Giebel nach aussen und zum übrigen Stall ab.

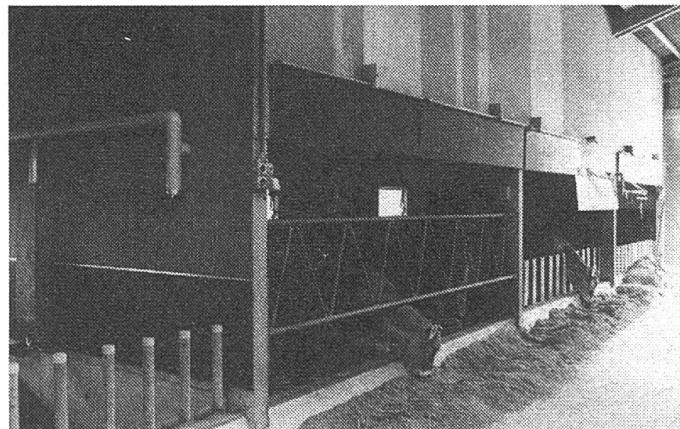


Abb. 3: Wärmegedämmter Teilbereich des Rindermaststalles mit Vollspaltenboden von der Durchfahrt aus gesehen.

Tabelle 1: Untersuchte Ställe – Rechengrößen

Tierart	Gewicht kg	Abgeg. Wärme W	Anzahl Tiere	Länge m	Breite m	Höhe m	Oberfl. m ²	k-Wert W/m ² K
Kälber	60 – 80	170 – 200	13 – 25	9,0	8,6	2,7	172	2,2
Rinder	300 – 350	640 – 700	15 – 23	13,5	5,0	3,3	196	0,7

Tabelle 2: Formeln für die Berechnung des Stallklimas

Anteil der fühlbaren Wärme	$Q_f = Q (0,8 - 1,85 (t + 10)^4 / 10^7)$	[W]
Anteil der latenten Wärmeabgabe	$Q_1 = Q - Q_f$	[W]
Wasserdampfabgabe	$X = Q_1 / 0,68$	[g/h]
Kohlendioxydabgabe	$C = 0,163 Q$	[l/h]
Luftrate im Winter	$V_w = X (x_i - x_a)$	[kg/h]
Luftrate im Sommer	$V_s = Q_f / (0,28 dt)$	[kg/h]
CH - Stallklimanorm [14]	$V_s = Q / 0,93 dt$	[m ³ /h]
Luftrate nach CO ₂ -Gehalt	$V_k = C / (k_i - k_a)$	[m ³ /h]
Lüftungswärmeverluste	$Q_v = 0,28 V_w dt$	[W]
Restwärme	$Q_r = Q_f - Q_b - Q_v$	[W]

Q, Qf, Q1 = totale, fühlbare, latente Wärmeabgabe der Tiere

Qr, Qb, Qv = Restwärme, Transmission durch Bauteile, Lüftungsverluste

t = Umgebungstemperatur in °C

X = Wasserdampfabgabe in g/h

C = Kohlendioxydabgabe in l/h

Vw, Vs, V_k = Luftraten Winter, Sommer, nach CO₂-Gehalt in kg/h, m³/h

x_i, x_a = Wasserdampfgehalt der Luft innen, aussen in g/kg

k_i, k_a = Kohlendioxydgehalt der Luft innen, aussen in l/m³

dt = Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen

Hinweise:

- Die Luftraten, wenn in kg/h angegeben, sind je nach Unter- oder Überdrucklüftungssystem durch das Raumgewicht der Ab- oder Zuluft zu teilen, um die Luftrate in m³/h zu erhalten.
- Den Wasserdampfgehalt von Zu- und Abluft greift man entweder aus einem Mollierdiagramm heraus oder berechnet ihn [12].

Theoretische Voraussetzungen

Luftraten

Bei der Berechnung der Stallluft-raten bei tiefen Stalltemperaturen muss zwischen fühlbarer und latenter (an Wasserdampf gebun-dener) Wärme unterschieden werden, da sich die Anteile bei-der Wärmearten in Abhängigkeit zur Umgebungstemperatur ver-schieben. Bei allen Haustierarten bleiben sie aber ungefähr im glei-chen Verhältnis. Der Anteil der fühlbaren Wärme macht bei Mi-nustemperaturen rund 80% der gesamten Wärmeabgabe aus [4, 8]. Er wird bei hohen Tempera-turen rasch kleiner (Abb. 4). Die Stallluftraten ergeben sich aus dem Unterschied des absoluten Wasserdampfgehaltes und auch des CO₂-Gehaltes von Innen- und Aussenluft, wenn Wasser-dampf- und Kohlendioxyd-Abga-ben der Tiere in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur be-kannt sind [4, 13, 14, 16]. Rechen-formeln siehe Tab. 2.

Anteil fühlbare Wärme in %

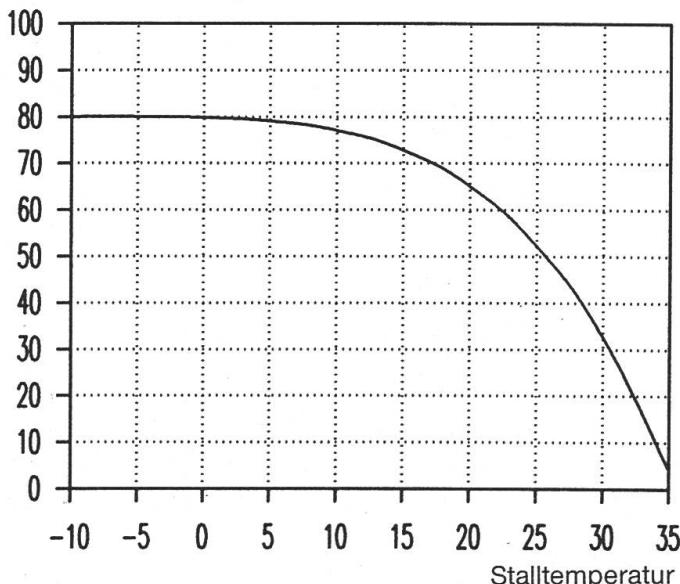


Abb. 4: Verhältnis von fühlbarer und latenter Wärmeabgabe der Tiere in Abhängigkeit zur Umgebungstemperatur [4]. In einem weiten Temperaturbereich bleibt die Summe beider Wärmeanteile gleich hoch.

Tabelle 3: Bedingung, um Oberflächenkondensat zu vermeiden

erforderlicher k-Wert < 6 $(t_i - t_s) / dt$	[W/m ² K]
t_i = Innentemperatur	[°C]
t_s = Taupunkttemperatur (aus Mollierdiagramm)	[°C]
dt = Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen	[°C]
6 = Wärmeübergangszahl innen	[W/m ² K]

Kondensat

Das **Beschlagen der Bauteile** hingegen hängt von der Isola-tionsstärke (k-Wert als Mass der Isolierfähigkeit), der Höhe der Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen und der Innen-luftfeuchtigkeit ab [6, 14]. Der er-forderliche k-Wert ergibt sich nach der Formel in Tab. 3. Die Tau-punkt-Temperatur greift man aus einem Mollier-Diagramm heraus (Abb. 5).

Ergebnisse

Temperaturen

Abb. 6 stellt den Temperaturver-lauf im Kälberstall an zwei Son-

nentagen mit sehr unterschiedli-cher Aussentemperatur dar. Die Innentemperatur folgt der Aus-sentemperatur. Aber bei tiefen Aus-sentemperaturen ist die Tem-pe-raturdifferenz zwischen innen und aussen grösser als bei ho-hen.

In Abb. 7 sind daher die Tem-pe-raturdifferenzen zwischen innen und aussen fünf verschiedener Tage für den Kälberstall in Abhängigkeit zur Aussentemperatur aufgetragen. Die **Temperatur-differenz** zwischen innen und aussen machte bei 0° C Aus-sentemperatur 6° C aus. Bei -10° C betrug sie 9° C. Bei fast doppelt so grossen Zuluftquerschnitten war die Temperaturdifferenz im zweiten Winter bei 0° C Aus-sentemperatur 4,5° C und bei -10° C 7,5° C, also um 1,5° C bei jeder Aus-sentemperatur kleiner. Im Rinder-maststall mit Vollspaltenboden ergab sich fast das gleiche Bild wie im Kälberstall im ersten Win-ter. Allerdings muss beachtet werden, dass im Tennenbereich (allgemeiner Rinderstall) die Temperatur ungefähr in der Mitte zwischen der von aussen und der des Rindermaststalles mit Voll-spaltenboden lag, während die rel. Luftfeuchtigkeit gleich wie aussen war.

Nach Abb. 7 nimmt mit fallender Aus-sentemperatur die Tem-pe-raturdifferenz zwischen innen und aussen geradlinig zu. **Die Höhe der Temperaturdifferenz zwi-schen innen und aussen bei 0° C Aus-sentemperatur ist da-her ein Mass für die Wirkung des Kaltstalles.**

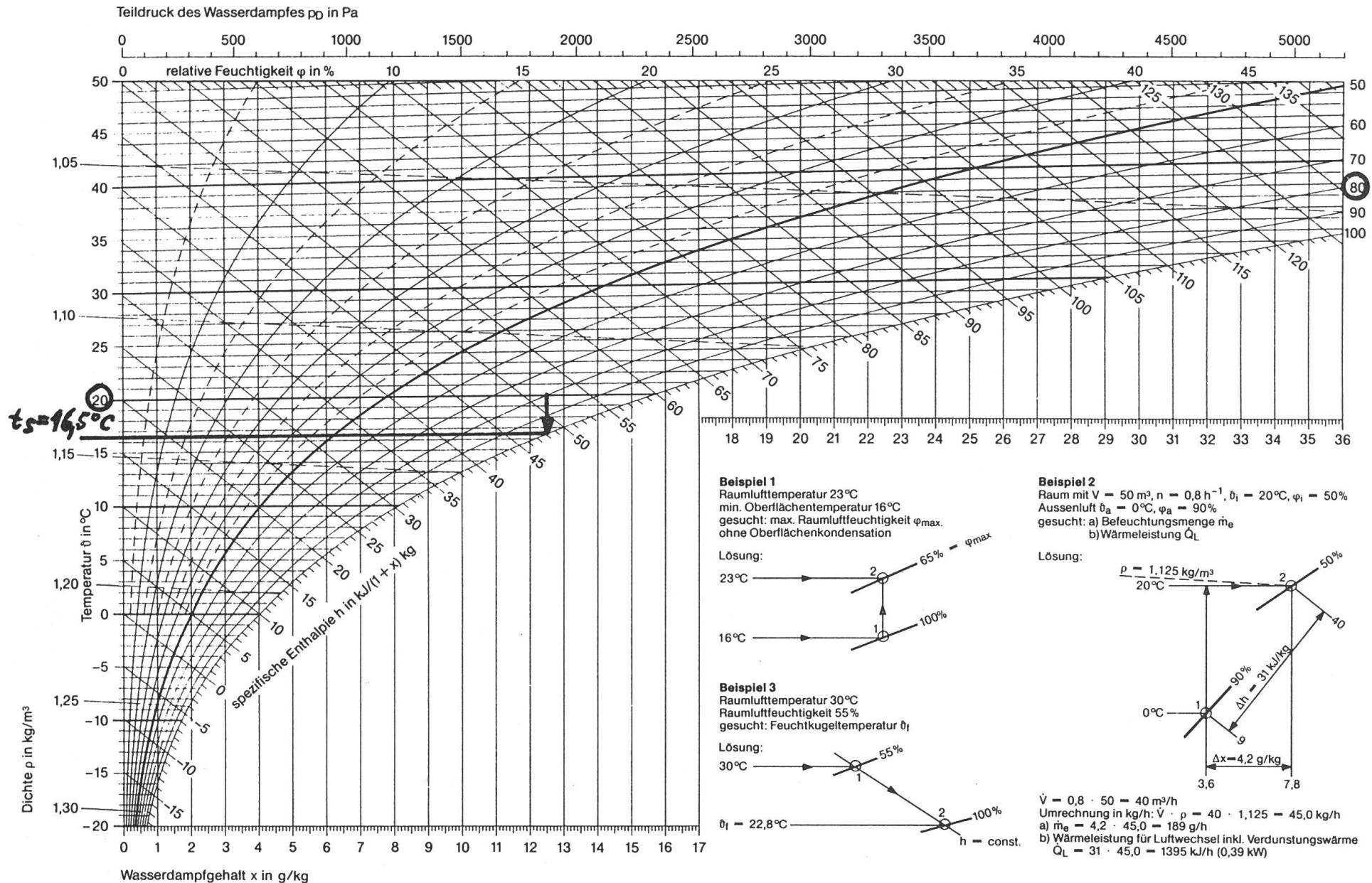


Abb. 5: h, x -Diagramm für feuchte Luft für $p = 950 \text{ mbar}$, $H = 540 \text{ m ü. M.}$, auch Mollierdiagramm genannt, [6].
Als Beispiel ist die Taupunkt-Temperatur zu 20°C bei 80% relativer Luftfeuchtigkeit $16,5^\circ\text{C}$.

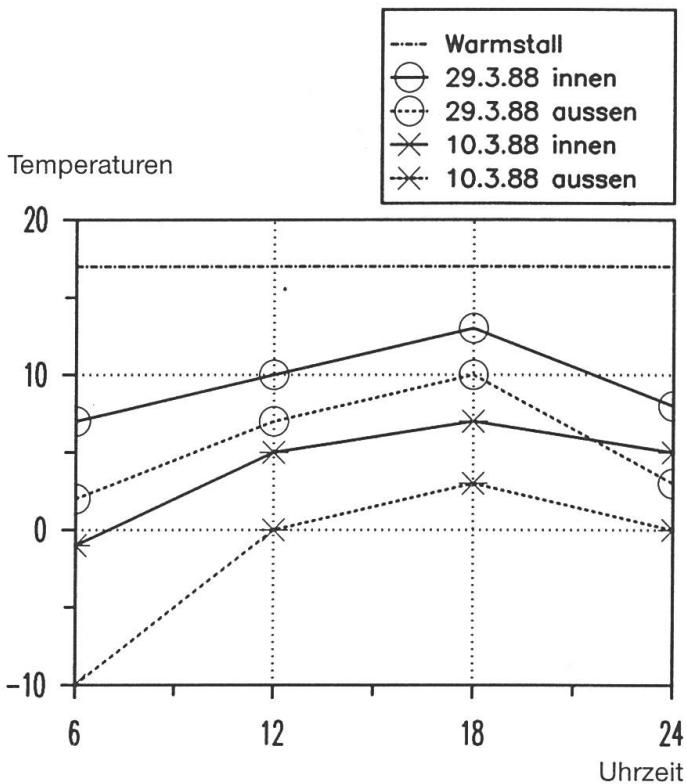


Abb. 6: Stalltemperaturverlauf im Vergleich zur Außen-temperatur und zum Warmstall (Kälberstall, 1. Winter, Messdaten von zwei Sonnentagen von 6, 12, 18 und 24 Uhr).

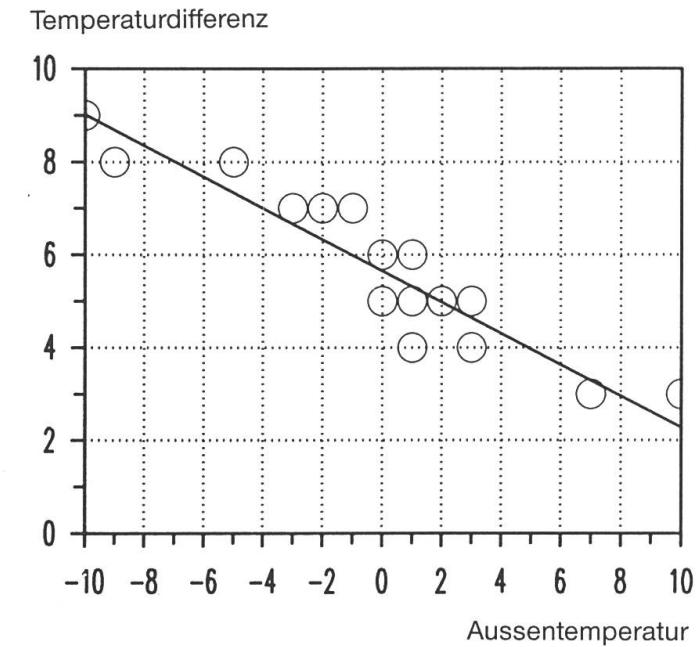


Abb. 7: Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen in Abhängigkeit zur Außen-temperatur (Kälberstall, 1. Winter, Messdaten von fünf Tagen jeweils von 6, 12, 18 und 24 Uhr).

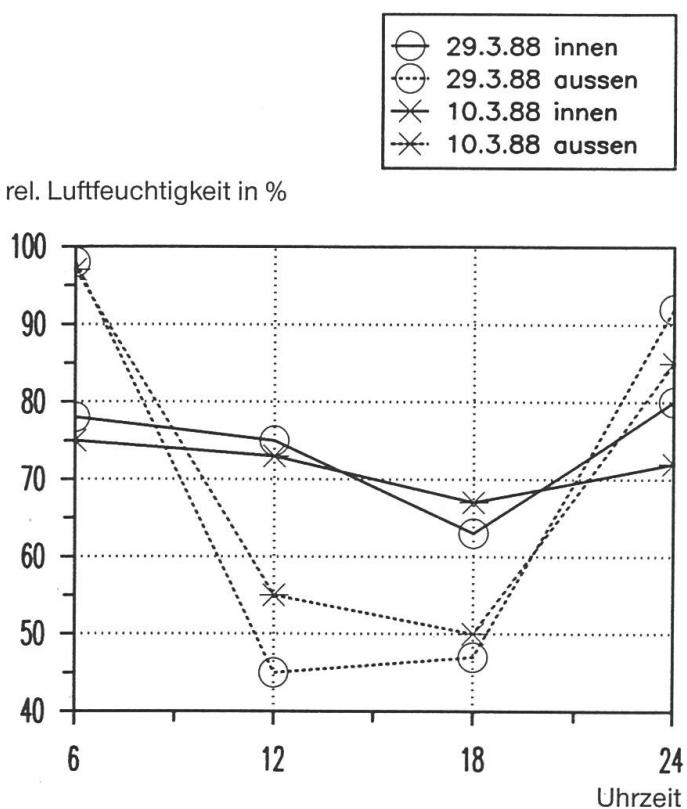


Abb. 8: Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit innen und aussen von zwei Sonnentagen (Kälberstall, 1. Winter).

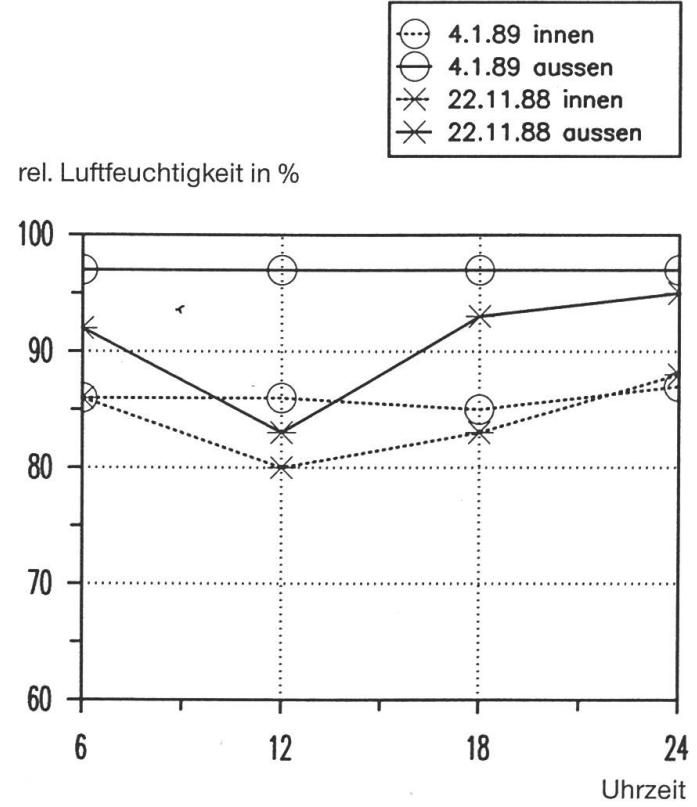


Abb. 9: Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit innen und aussen bei tagsüber ausgeglichener Luftfeuchtigkeit (Rindermaststall mit Vollspaltenboden).

Relative Luftfeuchtigkeiten

Im monatlichen Durchschnitt war die relative Luftfeuchtigkeit im Kälberstall bei beiden Messserien innen und aussen gleich, im Rindermaststall mit Vollspaltenboden war sie gegenüber aussen um 5 bis 15% tiefer.

Im Tagesverlauf dämpfte an Sonnentagen der Stall den sinusförmigen Tagesverlauf der relativen Luftfeuchtigkeit ab. Während der Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit aussen zwischen 40 und 100% schwankte, bewegte er sich im Kälberstall nur zwischen 60 und 80%, also im mittleren Drittel der Bandbreite von aussen (Abb. 8).

An feuchten Tagen mit ausgeglichener relativer Luftfeuchtigkeit war die Luftfeuchtigkeit im Stall ebenfalls ausgeglichen, aber eben im Rindermaststall mit Vollspaltenboden 5 bis 15% tiefer (Abb. 9). Dazu kommt noch: Je höher die Aussenluftfeuchtigkeit, umso grösser die Differenz der relativen Luftfeuchtigkeit zwischen innen und aussen.

Luftbewegung im Stall

Kleine Temperaturdifferenzen zwischen innen und aussen bewirken in Warmställen nur geringen **thermischen Auftrieb**. Dennoch scheinen Kaltställe auch bei **Windstille** ausreichend durchlüftet zu sein, wie es Rauchbeobachtungen und Kohlendioxyd-Messungen an verschiedenen Stellen im Stall zeigten.

Einerseits wirkte der thermische Auftrieb durch die von den Tieren abgegebene Wärme bei über 60 kg schweren Kälbern vereinzelte Luftbewegungen bis zu 40 cm/s. Der Auftrieb ist durch die tiefe Umgebungstemperatur begünstigt. Anderseits verursachen grosse Zuluftquerschnitte keine Druckverluste. Daher wirkt sich leichter Druckunterschied durch kleinste Windeinwirkung oder thermischen Auftrieb in Form von Luftumwälzung aus [1].

Sonst aber hängt die Luftbewegung im Stall sehr stark von der **Windrichtung** und der **Windstärke** ab. Die Windrichtung bestimmte gar den Strömungsfluss. Bei starkem Ostwind von 2 bis 3 m/s floss die Luft im Kälberstall vom First zur Taufe, also entgegen der gewünschten Richtung [17, 18]. Die Luft fliesst aber selten in umgekehrter Richtung, da in Tänikon (Mittelland der Schweiz) während 75% aller Zeit Winde mit weniger als 2,5 m/s blasen (Abb. 10), und während 49% aller Zeit die Luft aus Westen und Südwesten weht.

Luftströmungsuntersuchungen mit Rauch zeigten, dass Süd-West-Wind von 1,5 m/s Geschwindigkeit die Zuluft aus den teilweise geöffneten Wandöffnungen auf die darunter liegenden Boxen bzw. darunter liegende Bucht stossweise mit Spitzen-

Summenhäufigkeit in %

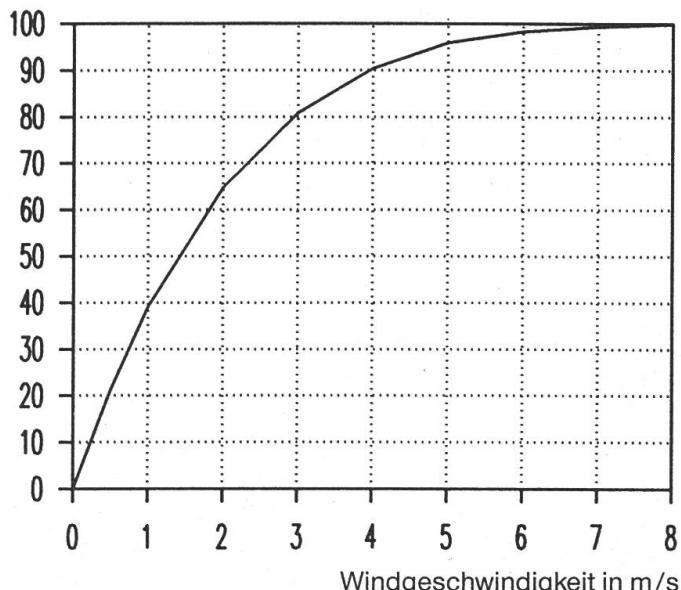


Abb. 10: Summenhäufigkeit der Windgeschwindigkeiten von Tänikon, aus Messungen von 1980 bis 1987 alle 10 Minuten.

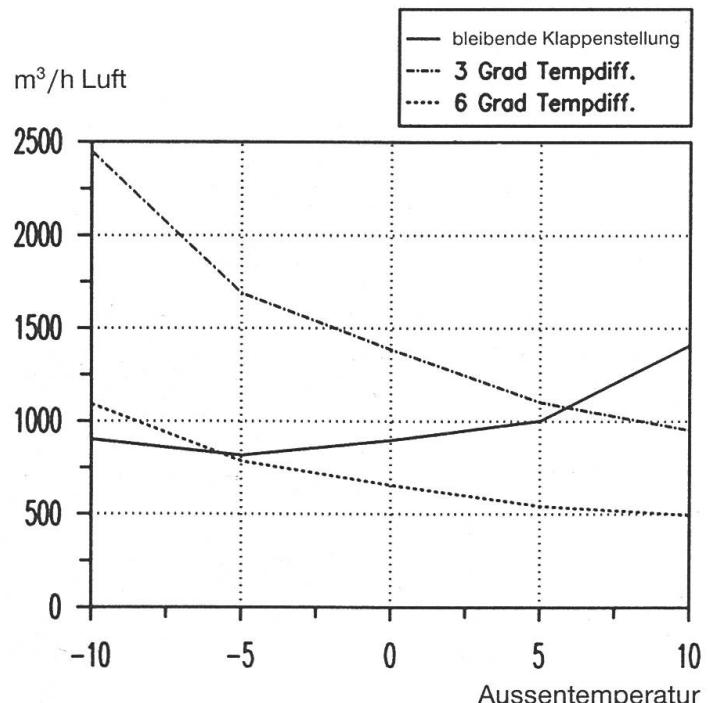


Abb. 11: Luftrate im Kälberstall von 20 Tieren à 70 kg bei 75% relativer Luftfeuchtigkeit innen und aussen
a) bei gleich bleibender Klappenstellung, wodurch sich im 2. Winter bei -10°C Aussentemperatur eine Temperaturdifferenz von $7,5^{\circ} \text{C}$ und bei 0°C Aussentemperatur eine von $4,5^{\circ} \text{C}$ einstellte.
b) bei 3 und c) bei 6°C Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen.

geschwindigkeiten von über 0,3 m/s in den Tierbereich unmittelbar unter die beiden Zuluftöffnungen trieb. Derartige Geschwindigkeiten im Stall wurden sowohl im Winter 1987/88 bei höher liegenden kleineren Zuluftöffnungen als auch im Winter 1988/89 bei tiefer liegenden grösseren Zuluftöffnungen gemessen.

Zugluft

Als Zugluft werden Luftströmungen empfunden, die irgendeinen Bereich unseres Körpers erreichen und im Vergleich zur Umgebungstemperatur eine tiefere Temperatur aufweisen. Im Dezember der ersten und der zweiten Messperiode waren zuerst die Kälber erkältet, die in Boxen direkt unter den Lufteinlässen standen. Im ersten Winter betrug die Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen 6° C. Im zweiten Winter erkrankten die Tiere bei Luftstößen von 30 cm/s bei 4° C Temperaturdifferenz; eventuell auch dadurch, dass sie durch Umzug gestresst waren. Die Situation besserte sich, sobald die wandseitige Hälfte der Boxen durch Spanplatten abgedeckt war.

In ganz unabgedeckten Boxen ist ein Ausweichen der Tiere vor Zug nicht möglich. In Buchten kann Kaltluft bei plötzlich aufkommender Bise die Tiere im Schlaf überraschen. Der Infektionsdruck wird geringer, wenn Einzelboxen in geschützten Teilen des Stalles stehen.

Luftraten

Abb. 11 gibt für 20 Kälber à 70 kg die Luftraten bei gleichbleibender Klappenstellung an. Dabei nahm die Temperaturdifferenz mit fallender Aussentemperatur im zweiten Winter zu (bei 0° C Aussentemperatur 4,5° C Temperaturdifferenz und bei -10° C Aussentemperatur 7,5° C Temperaturdifferenz). Auch enthält Abb. 11 die

Luftraten in Abhängigkeit von der Aussentemperatur bei gleichbleibenden Temperaturdifferenzen zwischen innen und aussen von 3 und 6° C. Die relative Luftfeuchtigkeit ist in allen drei Fällen innen und aussen immer 75%. Bei unveränderter Klappenstellung bleibt, wie nicht anders zu erwarten, auch die Luftrate unter 5° C ungefähr gleich hoch. Um aber theoretisch gleiche Temperaturdifferenz zwischen zu- und abfliessender Luft zu halten, müsste die Luftrate durch Vergrösserung der Lüftungsöffnung mit abnehmender Stalltemperatur stark ansteigen, da das Wasserdampf-Aufnahmevermögen der Luft mit fallender Temperatur abnimmt und die Wasserdampf-Abgabe der Tiere eher gleich ist (Abb. 4). Bei 3° C Temperaturdifferenz würde bei allen Aussentemperaturen ungefähr doppelt so viel Luft durchfliessen wie bei 6° C.

Je nach Windstärke und Lüftungsöffnungsstellung lag der Kohlendioxyd-Gehalt im **Kälberstall** zwischen 0,6 bis 0,9 l/m³ (aussen gemessen 0,2 l/m³). Bei 20 Tieren à 70 kg ergeben 0,8 l/m³ Kohlendioxydgehalt in der Stallluft nach Tab. 2 ungefähr 1000 m³/h Luftaustausch. Auch Einzelmessungen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit ergaben Luftraten zwischen 800 und 1200 m³/h. Diese Luftraten sind so gross wie

im Sommer, wenn man nach der CH-Stallklimanorm zur Wärmeabfuhr 4° C Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen einhalten will [2] (rund 1000 m³/h nach Tab. 2).

Im **Rindermaststall** mit Vollspaltenboden spielte sich der Luftaustausch bei Windstille zum grössten Teil über die rund 20 m² grosse Lüftungsöffnung zwischen Tenne und Stall ab. Die Luft strömte unten mit 25 cm/s ein und oben aus dem Stall in die Tenne. Das ist verständlich, da die Frischluft stets an der tiefsten Stelle in den Stall eintritt [7]. Der untere Rand dieser Öffnung lag um mehr als 2 m tiefer als der Traufschlitz und über einen Meter tiefer als die Fenster, die im ersten Winter nicht und im zweiten nur 3 cm weit gekippt waren (450 m³/h Zuluft). Im Abluftkamin (53 cm Innendurchmesser) war die Luftströmung mit 0,5 m/s sehr schwach (400 m³/h Abluft). Der gesamte Luftaustausch betrug für 20 Mastiere à 320 kg nach Kohlendioxyd-, Temperatur- und Feuchtemessung rund 3300 m³/h. Da die meiste Zuluft aus der Tenne kam und die meiste Abluft in die Tenne ging, wurde der Rindermaststall mit Vollspaltenboden zum Offenfrontstall zur Tenne hin. Als Offenfrontstall bezeichnet man Ställe, bei denen eine Seite oben rund zur Hälfte offen ist (Abb. 12).



Abb. 12: Offenfrontstall für 60 Mastschweine der FAT.

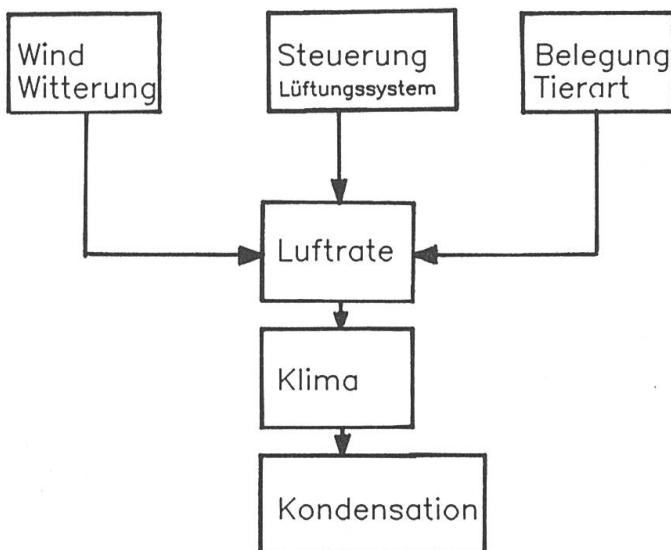


Abb. 13: Vereinfachtes Schema über die die Luftrate beeinflussenden Größen.

Lüftungssteuerung

Nach dem Schema in Abb. 13 haben neben der Steuerung in erster Linie Wind und Thermik auf den Luftaustausch in Kaltställen Einfluss, wobei sich Offenfrontställe kaum steuern lassen. Bei Trauf-First-Lüftungsställen helfen verstellbare Klappen, Fenster, Türen und Tore die Luftrate zu regulieren.

Bei hoher Außenluftfeuchtigkeit muss sehr viel mehr Luft als sonst in den Stall gelassen werden, da dann das Wasserdampfaufnahmevermögen der Luft viel kleiner ist. Eine relative Luftfeuchtigkeit aussen von 90 statt von 80% verdoppelt in manchen Fällen die erforderliche Luftrate. Das ist, abgesehen von regnerischen oder nebeligen Tagen, auch nachts der Fall, da dann die relative Luftfeuchtigkeit aussen höher ist. - Nachts trocknet bekanntlich ja auch kein Heu.

An Tagen mit hoher relativer Luftfeuchtigkeit oder auch sonst wird man auch mit Waschwasser im Stall sehr sparsam umgehen. Denn sehr viel davon verdunstet und muss durch die Lüftung entfernt werden. Entmischungssysteme, die die Flüssigkeit rasch aus dem Stall entfernen, und Gül-

lager, die keinen Wasserdampf in den Stall entlassen, sind vorzuziehen.

Eine Verdoppelung der Zu- und Abluftquerschnittsfläche bewirkt bei Wind auch eine Verdopplung der Luftrate. Zum gleichen Ergebnis führt auch die doppelte Windstärke. Der Landwirt kann durch Drosseln oder Vergrößern der Lüftungsöffnungen die Luftrate steuern.

Zuluftquerschnitte

Bei Windstille strömte die Zuluft mit rund 25 cm/s durch 1,2 m² Zuluftöffnung in den Kälberstall ein.

Das ergibt 1080 m³/h Luft. Die Lüftrate richtet sich nach der Wärmeabgabe der Tiere. 20 Kälber à 70 kg geben soviel Wärme ab wie 5 Kühe. Daher sind 20 Kälber nach Tab. 4 fünf Lüftungs-GV gleichzusetzen. Damit besaß jede einen Zuluftquerschnitt von rund 0,25 m².

Der Lüftungsbereich über der Krippe im Rindermaststall mit Vollpaltenboden diente 20 Tieren à 320 kg, also 14 Lüftungs-GV (Tab. 4), als Zu- und Abluftöffnung zugleich. Somit entfallen je GV 20/14=1,4 m². Das ist das sechsfache der Zuluftöffnung im Kälberstall je GV. Auch hier strömt die Zuluft ganz unten mit rund 25 cm/s ein. Setzt man das unterste eine Sechstel der gesamten Öffnungshöhe als Zuluftquerschnitt an, so ergeben sich 0,25 x 20 x 3600/6 = 3000 m³/h Luft.

Wärmebilanz

Wie im Warmstall, so gleichen sich auch im Kaltstall die von den Tieren abgegebene Wärme und die Wärmeverluste aus Transmission durch Bauteile und aus Lüftung aus. Überschüssige Wärme bewirkt höhere Stalltemperaturen und eine tiefere relative Luftfeuchtigkeit. Fehlende Wärme zieht tiefere Stalltemperaturen und eine höhere relative Luftfeuchtigkeit nach sich. Aus die-

Tabelle 4: Wärmeabgabe verschiedener Tierarten und -gewichtsklassen im Vergleich zu einer Kuh à 600 kg nach [14] zur Bestimmung des Lüftungs-GV-Anteiles

Tierart	Gewicht kg	Wärmeabgabe W	Lüftungs-GV-Anteil
Kuh	600	906	1,00
Kalb	50	140	0,15
	60	170	0,19
	80	200	0,22
	100	271	0,30
	300	639	0,71
Mastrind	320	660	0,73
	350	700	0,77
	400	751	0,83

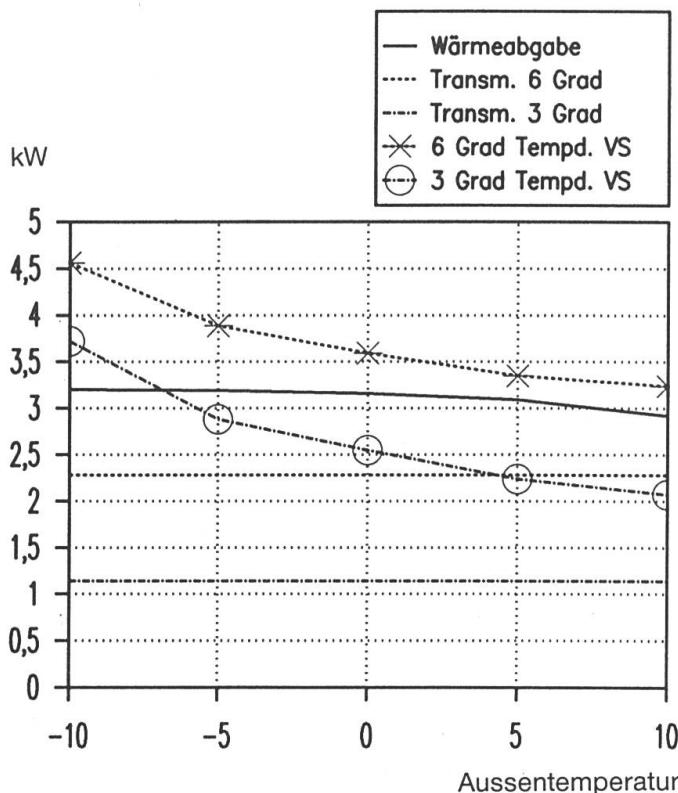


Abb. 14: Wärmebilanz im Kälberstall für 20 Tiere à 70 kg bei Temperaturdifferenzen von 3 und 6°C und 75% Luftfeuchtigkeit innen und aussen. Die Wärmeabgabe der Tiere ist mit der Verlustsumme (VS) aus Transmission durch Bau- teile und aus Lüftung zu vergleichen.

sem Grunde war wegen der guten Wärmedämmung die relative Luftfeuchtigkeit im Rinderstall im Mittel 5 bis 15% tiefer als aussen. Nach Abb. 14 ist über -7°C Aussentemperatur die Wärmeabgabe der Tiere im Kälberstall bei gleichbleibender Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen von 3°C grösser als die Verluste durch Transmission und Lüftung. Bei 6°C Temperaturdifferenz hingegen ist die Wärmebilanz nie positiv. Wie erwartet, fällt somit die Wärmebilanz mit kleiner werdender Temperaturdifferenz bzw. steigender Luftrate besser aus. Bei viel Luft können Ställe mit sehr schlechtem k-Wert wie beispielsweise dem Kälberstall von 2,2 W/m²K trocken bleiben. Dabei ist der Wärmeverlust durch Transmission entscheidend. 6°C Temperaturdifferenz verursachen doppelt so viel Verluste wie 3°C. Die Lüftungsverluste bleiben

in beiden Fällen etwa gleich, da gleich viel Wasserdampf abgeführt werden muss, nur in dem einen Fall durch mehr Luft, im anderen Fall durch mehr Wasserdampfaufnahmevermögen bei grösserer Temperaturdifferenz.

Kondensation

Im ersten Herbst beschlugen bei hohen relativen Luftfeuchtigkeiten

ten die doppelschaligen unisolierten Wände (1,9 W/m²K) in dem am wenigsten durchlüfteten Bereich des Kälberstalles unter der Strohbühne. Die Kondensatbildung verringerte sich erst, als zwei Schlitze von je 0,1 m² Querschnitt in der Strohbühne eingebaut waren und im ersten Winter die relative Luftfeuchtigkeit der Aussenluft gegenüber dem Herbst abnahm.

Im zweiten Herbst waren wegen der geringeren Temperaturdifferenz von 4,5°C zwischen innen und aussen bei 0°C aussen zufolge der grösseren Zuluftöffnungen trotz 50% mehr Tieren im Stall die Kondensatstellen viel kleiner (Kondensationsbereich weniger als 5% der gesamten Wandfläche zur Tenne und nach aussen unter der Strohbühne).

Hingegen war das kondensationsbeständige Eternitdach (k-Wert 3,4 W/m²K) bei über 90% Luftfeuchtigkeit immer beschlagen und bei Temperaturen unter null Grad im Stall mit Reif belegt. Unter lichtdurchlässigen Kunststoffwellplatten, die anstelle von Welleternitplatten im Dach eingesetzt sind, einen noch schlechteren k-Wert besitzen und überhaupt nicht saugfähig sind, sind die Pfetten im Winter immer nass und tropfen.

Bei den hohen Luftfeuchtigkeiten von innen und aussen sind Kondensatniederschläge auch nach

Tabelle 5: Erforderliche k-Werte in Abhängigkeit von der Stalltemperatur, den Temperaturdifferenzen zwischen innen und aussen und der Luftfeuchtigkeit im Stall
(nach Tab. 3 berechnet)

Temperaturdifferenz in °C relative Luftfeuchtigkeit in %	3 90	6 90	6 80
Stalltemperatur	k-Werte in W/m ² K		
-10	2,35	1,18	2,48
-5	2,45	1,23	2,58
0	2,88	1,44	3,03
5	3,00	1,50	3,16
10	3,12	1,56	3,29
15	3,25	1,63	3,42

theoretischen Berechnungen zu erwarten. Nach Tab. 5 ist bei 0° C und 90% relativer Luftfeuchtigkeit im Stall bei einer Temperaturdifferenz zu aussen von 3° C ein k-Wert von 2,9 W/m²K erforderlich, bei einer Temperaturdifferenz von 6° C ein von 1,4 W/m²K (Stallwand 1,9 W/m²K). Damit rührte die vermehrte Kondensatbildung an den Wänden (k-Wert 2 W/m²K) im ersten Herbst von der grösseren Temperaturdifferenz von 6° C zwischen innen und aussen her.

Mit kleiner werdender Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen und abnehmender Luftfeuchtigkeit ist weniger Isolationsstärke bzw. sind schlechtere (grössere) k-Werte möglich. Da im Winter die Aussenluftfeuchtigkeit oft an 100% herankommt und in Kaltställen die relative Feuchtigkeit nicht viel tiefer sein kann, ist für kurze Zeit in Kaltställen immer mit Kondensation zu rechnen. Doch die hohe Luftfeuchtigkeit beeinflusst bei tiefen Temperaturen die Tiergesundheit nicht [1], während bei Warmställen 80% nicht überschritten werden sollte.

Stallbauhinweise

Wände

Da Witterungseinflüsse eintreten können, die Kondensat bei Kaltställen nicht ausschliessen, sind die Wände aus imprägniertem oder feuchtigkeitsbeständigem Baumaterial zu erstellen.

Dach

Einfeldrige, sich 25 cm überlappende und mit 1 bis 2 cm Luftspalt im Stoßbereich verlegte Wellplatten verhindern das Abtropfen in den Stall [3, 11] (Abb. 15). Die zusätzliche Durchlüftung verringert ausserdem die Kondensa-

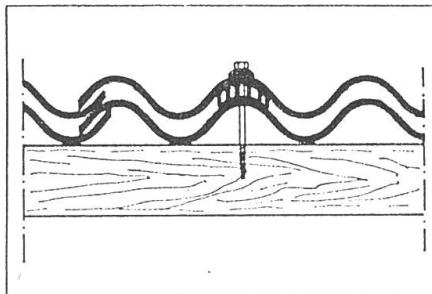


Abb. 15: Querschnitt durch Schlitzausbildung von Dachwellplatten mit 1 bis 2 cm Luftspalt [5, 10].

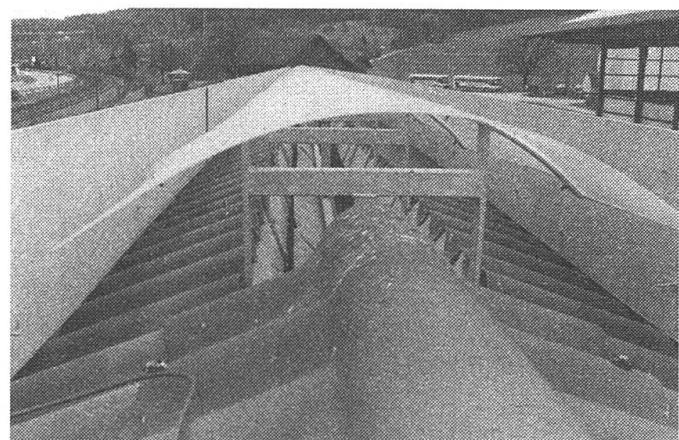
tion und mindert einen Hitzestau im Sommer.

Andernfalls, wenn zum Beispiel das Abtropfen vom Dach als störend empfunden wird, ist eine dünne Wärmedämmsschicht von 4 cm [15] von Vorteil. Die Isolationsplatte dient gleichzeitig zur **Dachhinterlüftung**, um im Sommer Hitzestau zu vermeiden. Man sieht bei breiten Dächern 6 bis 10 cm hohe, durchgehende Luftsäalte zwischen Welleternitplatte und Hinterfütterung vor [6]. Während der Luftspalt zwischen Wellenit und Pfette im Durchschnitt 2,5 cm stark ist, wäre durch Konterlattung weiterer Querschnitt zu gewinnen.

Lüftung

Verstellbare, über 1,2 m lange Leitplatten aus Sperrholz oder Spanplatten unter den Zuluftschlitten an der Traufe lenken die Zuluft von den Tieren ab (Trauf-First-Lüftung). Grosse Öffnungen mit kleiner Zuluftgeschwindigkeit schliessen Zug aus (Offenstall).

Abb. 15: 30 cm breiter Firstschlitz mit transparenter Abdeckhaube, transparenter in Schlitzmitte drehbarer Regelklappe und Windabweisern (Rinderstall) der FAT.



Um Zug zu vermeiden, müssen Zuluftschlitz um so weiter von den Tieren entfernt sein, je grösser die Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen ist und umso grösser die Zuluftgeschwindigkeit ist (zulässig im Winter im Warmstall nach CH-Stallklimanorm 10 cm/s im Tierbereich [14]).

Der Abluftquerschnitt ist in der Regel so gross wie die Zuluftquerschnitte zusammen und ebenfalls mit Klappen versehen (Abb. 16). Oft bestehen Klappe und Abdeckhaube aus transparentem Kunststoff und bilden so ein Lichtband. Durchsichtiger Kunststoff wird oft doppelwandig ausgebildet, um die Kondensatbildung zu mildern. Zur Firstschlitzlüftung gehören auch Windabweiser.

Zusammenfassung

Praktische und theoretische Untersuchungen führten zu folgenden Erkenntnissen beim Bau und Betrieb von Kaltställen:

- Die erforderliche **Luftrate** ist an kalten Tagen so hoch wie im Sommer.
- An kalten Tagen sind **alle Lüftungsmöglichkeiten**, so wie sie im Sommer gebraucht werden, einzusetzen, wenn die Tempera-

turdifferenz klein bleiben soll (offene Fenster und Tore, wenn andere Öffnungen nicht ausreichend vorhanden sind).

● Kaltställe, die bei 0° C Aussen-temperatur eine Temperaturdifferenz von 4 bis 6° C haben sollen, benötigen bei der Trauf-First-Lüftung **Zu- und Abluftöffnungen** von ungefähr je 0,25 m²/Lüftungs-GV und bei Offenställen rund 1,5 m²/Lüftungs-GV Offen-front [9]. Für kleinere Temperaturdifferenzen zwischen innen und aussen ist mehr Querschnitt nötig.

● Im Gegensatz zum Warmstall, in dem 80% **relative Luftfeuchtigkeit** nicht überschritten werden sollte, sind bei tiefen Temperaturen für die Tiere höhere relative Luftfeuchtigkeiten zulässig.

● **Kondensat** lässt sich an kalten Tagen bei 6° C Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 90% nur dort vermeiden, wo Bauteile einen k-Wert von weniger als 1,2 W/m²K besitzen. Bei 3° C Temperaturdifferenz genügt ein k-Wert von 2,4 W/m²K.

● Bauteile in Kaltställen mit schlechterem (grösserem) k-Wert als 1,2 W/m²K sollten **feuchtigkeitsbeständig oder imprägniert** sein.

● Um **Hitzestau** im Sommer zu verhindern, hinterlüftet man die Dächer, indem man sie doppelschalig ausbildet. Bei einschaliger Dachausbildung sind Luftschlitzte zwischen den Platten an den Stössen für die Wärmeabfuhr im Sommer und für die Kondensatableitung im Winter vorteilhaft.

Literatur

- [1] BARTUSSEK, H., Klima und Lüftung im einstreulosen Stall, 7. Arbeitstagung «Fragen der Gällerei», BVA Gumpenstein, 1981.
- [2] BORCHERT, K. L., Der Kaltstall für Rindvieh – ein konstruktives Problem, BLS-Landsiedlerdienst, München, 1973.
- [3] BORCHERT, K., L., Traufen und Firstlüftung für Rindviehställe – sinnvolle Alternative zur Zwangslüftung?, dlz, München, 1236-40, 1984.
- [4] CIGR, Climatisation of Animal Houses, Scottaspress Publishers Limited, Aberdeen, 1984.
- [5] DAENICKE, R., PIOTROWSKI, J., Kälberaufzucht in ungedämmten Ställen, *Der Tierzüchter*, Nr. 5, Frankfurt, 219-221, 1982.
- [6] ELEMENT 23, Wärmeschutz im Hochbau, Schweiz. Ziegelindustrie, Zürich, S. 66 und 72, 1984.
- [7] GOEBEL, W., Schwerkraftlüftung – Praxisuntersuchungen, FAT-Berichte 342, Tänikon, 1988.
- [8] HAHN, L., SHANKLIN, D., JOHNSON H. D., 24. Relation of Humidity to Lactation and Some Related Physiological Responses of Dairy Cattle, *University of Missouri*, Columbia, Missouri, 1953.
- [9] HAIGER, A., STORHAS, R., BARTUSSEK, H., Naturgemäße Viehwirtschaft, Ulmer Verlag, Stuttgart, 1988.
- [10] JAKOB, P., Offenställe für Mastschweine, FAT-Berichte 323, Tänikon, 1987.
- [11] JAKOB, P., SCHMIDLIN, A., STEINER, T., GOETZ, M., Die Benutzung des Liegeboxenbereiches im Boxenlaufstall durch Milchkühe, FAT-Schriftenreihe 31, 27-32 Offenstall, 1988.
- [12] JANSSEN, J., SCHOEDDER, F., Ableitung von Luftzustandsgrössen aus meteorologischen Daten, *Grundlagen der Landtechnik*, Bd. 30, Düsseldorf, 3-4, 1980.
- [13] OEKL-ANLEITUNG – STALLKLIMA, OeKL, Verlag J. Dressler, Wien, 1983.
- [14] STALLKLIMAKOMMISSION, Schweizerische Stallklimanorm, ETH Zürich, 1983.
- [15] RITTEL, L., Trauf-First-Lüftung, etwas für selbstbauwillige Landwirte?, dlz, München, S. 61 und 1652, 1981.
- [16] STROEM, J. S., Heat Losses from Cattle, Swine and Poultry as Basis for Design of Environmental Control System in Livestock Buildings. *English Translation of SBI-landbrugsbyggeri* 55, Statens Byggeforskningsinstitut, Hörsholm, 1987.
- [17] TECHEL, M., Klima in Kaltställen, *Betriebswirtschaftliche Mitteilungen*, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Nr. 379, Kiel, 9-15, 1988.
- [18] ZEISIG, H. D., KREITMEIER, J., Möglichkeiten und Probleme der Trauf-First-Lüftung in Rindviehställen, *Der Tierzüchter*, Nr. 7, Frankfurt, 303-305 Steuerung, 1982.