

## Schwerkraftlüftung – Praxisuntersuchungen

Wilfried Göbel

**Praxisuntersuchungen auf dem Gebiet der Schwerkraftlüftung führten zu folgenden Ergebnissen: Der Wind, die Höhe der Zuluftöffnungen sowie die Isolation des Stalles bzw. der Wärmehaushalt beeinflussen die Funktion der Schwerkraftlüftung. Dagegen hatten Grundrissgestaltung und Stallhöhe keinen Einfluss auf die Funktion der Lüftung mit Kaminen. Bei Kaminen kommt man in der Praxis mit weit geringeren Querschnittsflächen als nach der Stallklimanorm aus. Firstschlitzausbildungen und Querschnittsflächen werden für verschiedene Stallsysteme angegeben.**

abgeführt. Einerseits funktionierenden Kamine mit insgesamt wenig Querschnittsfläche zufriedenstellend (Abb. 1) [5,7,9]. Andererseits lässt das Stallklima bei Schwerkraftlüftungen auch zu wünschen übrig [3,4]. Da Planungsgrundlagen für den Bau von Schwerkraftlüftungssystemen zum Teil fehlen bzw. widersprüchlich sind, sollte die Untersuchung folgende Fragen beantworten:

- Welche Stallabmessungen sowie Isolations- und Lüftungsgrundsätze sind zu beachten?
- Wo und wie muss die Zuluft einströmen?
- Wie müssen Kamine und Firstschlitze ausgebildet sein?

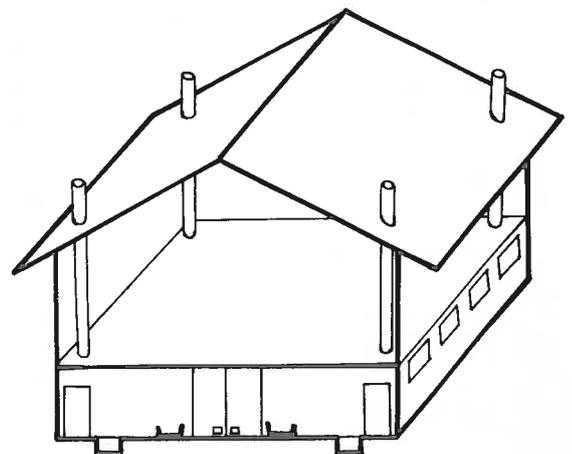
Wir haben deshalb rund 50 verschiedene Ställe untersucht: deckenlastige Ställe (Decke kann mit Stroh oder Heu beladen sein), Hallenställe (das Dach bildet die Decke), Kaltställe (Hallenställe ohne Isolation) und Offenställe (Tab. 1).

Dabei wurden nicht nur die Belegung und die Abmessungen von Stall, Zuluftöffnungen und Kaminen aufgenommen sowie k-Werte und Vergleichsgrößen wie auf eine GVE bezogene Stallgrund- oder Kaminquerschnittsfläche berechnet, sondern es wurden auch Kondensatschäden und die Erfahrungen der Besitzer mit der Lüftung notiert. Zudem wurden in insgesamt elf Kaminen verschiedener

### 1. Einleitung

Ein grosser Teil der Ställe, besonders die der Rindviehhaltung, besitzt Schwerkraftlüftungen. Dabei wird im Sommer in erster Linie die Tierwärme und im Winter der anfallende Wasserdampf über Kamine oder Firstschlitze ohne Ventilatoren

Abb. 1: Dampfkamine zur Lüftung eines deckenlastigen Kuhstalles.



**Tabelle 1: Aufgliederung der untersuchten Ställe nach Tierart, Stalltyp und Lüftungssystem**

Tierart	Stalltyp		Hallenstall				Kaltstall Hallenstall Laufstall	Offenstall
	Warmstall deckenlastig	Anbinde- stall	Anbindestall		Laufstall			
	Lüftungssystem Kamin	Kamin	Kamin	Schlitz	Kamin	Schlitz		
Milchkühe	13	1	7	4	3	3	5	
Rindermast	1			1	1	1		3
Schweinemast					2			1
Galtsauen					1			
Trutenmast					1			
Pouletmast					1			
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>

Ställe die Abluftgeschwindigkeit zum Teil mehrmals und die Temperatur in und neben dem Stall gemessen.

## 2. Theoretische Grundlagen

Bei einer Temperaturdifferenz von  $10^{\circ}\text{C}$  errechnen sich für die einzelnen Tierarten die in Tab. 2 angegebenen **Luftraten** nach Formel 1 [9] (siehe Kasten). Um

andere Tiere und Gewichtsklassen auf GVE (Kuh à 600 kg) umrechnen und um die Lüftungssysteme von Ställen unterschiedlicher Tierarten vergleichen zu können, wird die Luftrate der GVE von  $97\text{ m}^3/\text{h}$  1 gesetzt.

**Thermischer Auftrieb und Wind** verursachen die Luftbewegung im Stall. Bei einer Temperaturdifferenz von  $10^{\circ}\text{C}$  und einer Auftriebshöhe von 8 m wird nach Formel 2 (siehe Kasten) der **Auftrieb** 0,35 mm WS (Abb. 2). **Die tieferen Zuluftöffnungen**

**haben den grösseren Zug** und schalten Traufschlitze oft aus. Tief liegende Falschlüftöffnungen wie Türspalten, Entmistungslätze und Entmistungskanäle verändern deshalb nicht nur die Luftströmung im Stall, sondern verursachen oft Zug. Die durch den Auftrieb verursachte Abluftgeschwindigkeit im Kamin wird durch Strömungswiderstände wie Fenster, Kamineinlass, Drosselklappe, Rohrreibung und Kaminende verringert. Die **tatsächliche Ab-**

**Tabelle 2: Luftraten verschiedener Tierarten bei einer Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen von  $10^{\circ}\text{C}$  und GVE-Lüftungseinheit**

Tierart	Gewicht kg	Stalltemp. im Winter	Wärmeabgabe W	Luftrate $\text{m}^3/\text{h}$	GVE-L.- Einheit
Milchkuh	500	10	820	88	0,9
	<b>600</b>	<b>10</b>	<b>906</b>	<b>97</b>	<b>1,0</b>
	700	10	988	106	1,1
Mastrind	150	16	371	40	0,4
	200	15	479	52	0,5
	300	15	639	69	0,7
	400	15	751	81	0,8
	500	15	829	89	0,9
Mastschweine	20 - 40	22 - 17	66 - 112	7 - 12	0,1
	60 - 100	16 - 15	151 - 222	16 - 24	0,2
Zuchtsauen ohne Ferkel	150	10	309	33	0,3
	200 - 250	10	359 - 400	39 - 43	0,4
	300 - 350	10	450 - 493	48 - 53	0,5
100 Poulets	200	18	1140	123	1,3

**Formelzusammenstellung:**

Formel 1:	$V = Q/0,93 (t_i - t_a)$	(m <sup>3</sup> /h)
Formel 2:	$p_T = (g_a - g_i) H = 1,2 (t_i - t_a) H/273$	(mm WS)
Formel 3:	$v_{ia} = 0,134 \sqrt{H (t_i - t_a)}$	(m/s)
Formel 4:	$p_W = (v_W^2) / 16$	(mm WS)

V	m <sup>3</sup> /h	Luftrate
Q	W	Wärmeabgabe des Tieres
t <sub>i</sub> -t <sub>a</sub>	°C	Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen
p <sub>T</sub>	mm WS	Thermischer Auftrieb
v <sub>ia</sub>	m/s	tatsächliche Luftgeschwindigkeit im Kamin
g <sub>a</sub> -g <sub>i</sub>	kg/m <sup>3</sup>	Raumgewichtdifferenz der Luft zwischen aussen und innen
H	m	Auftriebshöhe
p <sub>W</sub>	mm WS	Auftrieb durch Wind
v <sub>W</sub>	m/s	Windgeschwindigkeit

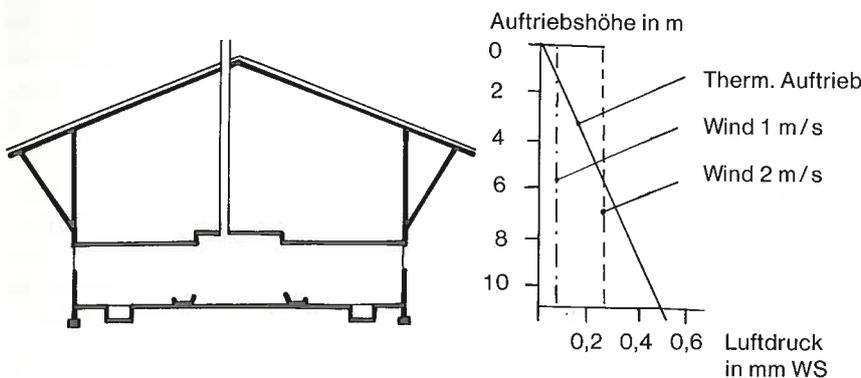


Abb. 2: Theoretische Drücke durch Auftrieb bei 10° C Temperaturdifferenz und durch Wind von 1 und 2 m/s.

**Luftgeschwindigkeit** beträgt etwa 50% der theoretischen [10] (Formel 3). Neben der Thermik verstärkt auch der **Wind** nach Formel 4 den Auftrieb [10]. Demnach verursachen Windgeschwindigkeiten bis 1 m/s mit 0,063 mm WS weit weniger Auftrieb, als bei 10° C Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen bei einer Auftriebshöhe von 8 m entsteht. Winde über 1,5 m/s treten in Tänikon (gleichbedeutend für viele Gegenden des Mittellandes) während 50% des Jahres auf. Sie verursachen bei **Kaminen mit 3 m Auftriebshöhe und 10° C Temperaturdifferenz bereits mehr Druck als die Thermik** (Abb. 2).

In den meisten Gegenden herrschen **Hauptwindrichtungen** vor. Eine windexponierte Lage des Stalles wäre für den Sommer zwar gut, im Winter aber kann der Stall bei plötzlich aufkommendem Wind rasch unterkühlt werden.

### 3. Warmställe

#### 3.1 Allgemeines

Bei 15 deckenlastigen Ställen und 25 Hallenställen wurden die in Tab. 3 und 4 angegebenen Vergleichsgrößen festgestellt. Als spezifisch gelten alle auf eine GVE bezogenen Werte.

#### 3.2 Stallform

Die spez. Grundfläche, Stalloberfläche und Transmission liegen bei Hallenställen im gleichen Rahmen wie bei deckenlastigen Ställen. Auch schwanken die spez. Stallgrundfläche und die Stallgrundfläche je Kamin bei allen Ställen in weiten Grenzen, nämlich zwischen 6 bis 17 bzw. 32 bis 156 m<sup>2</sup>, ohne dass die

**Tabelle 3: Stallvergleichsgrößen**

		deckenlastig	Hallenstall	
			Anbindestall	Laufstall
Stallhöhe	m	2,0-3,0	2,6-4,0	2,3-4,3
spez. Stallgrundfläche	m <sup>2</sup> /GVE	6-17	8-13	5-14
spez. Stallvolumen	m <sup>3</sup> /GVE	11-45	21-40	16-57
spez. Stalloberfläche	m <sup>2</sup> /GVE	12-30	14-23	9-24
spez. Transmission	W/°CGVE	11-36	11-27	10-21

**Tabelle 4: Vergleichsgrößen über die Ausbildung der Abluftöffnungen**

		deckenlastig	Hallenstall	
			Anbindestall	Laufstall
Auftriebshöhe	m	4,0–7,5	2,5–4,0	3,0–4,5
Stallgrundfläche/Kamin	m <sup>2</sup>	32–126	71–156	36–131
Anzahl GVE/Kamin	Stck	3–14	6–17	6–17
spez. Kaminquerschnitt	cm <sup>2</sup> /GVE	157–330	133–313	147–373
Schlitzbreite	cm		8–40	20–30
Schlitzlage über Boden	m		4,5–5,0	6,0–7,5
Stallbreite	m		13–16	14–25
spez. Schlitzfläche	cm <sup>2</sup> /GVE		427–578	774–1286

Lüftung versagt. Bei Ställen mit wenig Tieren oder Ställen, in denen die Tenne vom Stall oft durch eine Mauer mit Futterluken getrennt oder durch Futterläden trennbar ist, liegen die oben genannten Vergleichsgrößen an der in Tab. 3 und 4 genannten unteren Grenze; bei Mastställen an der oberen. Im Durchschnitt entfallen auf jede GVE 10 m<sup>2</sup> und je Kamin 100 m<sup>2</sup> Stallgrundfläche.

**Mit Kaminen lassen sich deckenlastige Ställe beliebiger Grundrissform entlüften.** Sogar die Stallhöhe spielt in deckenlastigen Ställen keine grosse Rolle. In einem Fall betrug sie 2 m, wobei die Deckenunterseite aus Balken bestand. **Bei Hallenställen liegen in allen Fällen schräg ansteigende Dächer vor.** Die durchschnittlichen Stallhöhen

fallen damit höher aus als bei deckenlastigen Ställen. Sie können bei Laufställen bis auf 4,3 m steigen. Damit wird auch das spez. Stallvolumen grösser, nämlich bis zu 57 m<sup>3</sup>/GVE.

### 3.3 Isolation und Bauausführung

Jeder dritte der untersuchten Ställe zeigte mit dem Stallklima in Verbindung stehende typische Mängel, nämlich Schimmelbildung entweder an Deckenbereichen, Wänden und Toren (Abb. 3). In den meisten Fällen war die Wärmebilanz des Stalles nicht ausgeglichen, d. h. der Wärmeverlust durch die Bauhülle (Transmission) und die für die Wasserdampf-abfuhr nötige Lüftung war im Winter grösser als die Wärmeabgabe der Tiere.

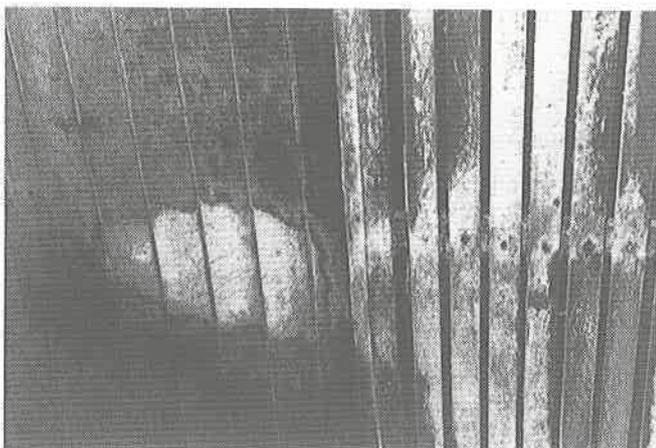
Einen raschen Überblick darüber, ob die Wärmeabgabe durch die Bauhülle zu gross ist, verschafft die **spez. Transmission** (spez. Oberfläche mal durchschnittlicher k-Wert der gesamten Bauhülle). Je kleiner also die spez. Stalloberfläche ist, umso grösser darf der k-Wert sein.

Bei den untersuchten Ställen lag die spez. Transmission zwischen 10 und 36 W/°CGVE. (Tab. 3). **Die spez. Transmission darf in Kuhställen höchstens 14 W/°CGVE betragen [6].**

Unterbelegte oder zu schwach isolierte Ställe lassen für die Abfuhr des Wasserdampfes zu wenig Wärme übrig. Bei Wärmeüberschuss kann mehr Luft durch den Stall fließen und der Wasserdampf und die Schadgase werden mehr verdünnt. **Der Steuerungsspielraum für das Stallklima ist umso grösser, je besser der Stall isoliert ist. Ausserdem sind dann weniger Steuerungseingriffe nötig.**

**Kondensatbildung an Decken und Wänden hat ausser mit Unterbelegung und zu schwacher Isolation noch mit Isolationsmängeln zu tun [1]. Kältebrücken müssen bereits bei der Planung erkannt und vermieden werden.** Niemals dürfen Wände zwischen Stall und unbeheizten Räumen unisoliert sein. Stallbereiche, die weniger durchströmt werden wie tote Ecken, Kälberischen, Melkstände und Deckenbereiche zwischen Stall und Scheune sollten gar verstärkt isoliert sein.

**Die Isolation muss auch fachgerecht angebracht werden.** Sie soll nicht nur den Stall wie ein Mantel einpacken, sondern muss auch möglichst luftundurchlässig sein. Dazu dient auch die stallseitig lückenlos eingebrachte Dampfsperre oder -bremse. An keiner Stelle darf Kaltluft die Isolation unterlaufen



**Abb. 3:** Schimmelbildung an einer mit Holz verkleideten Decke.



Abb. 4: Undichter Stoss zwischen zwei Steinwollematten.

(Abb. 4). Durch Gitter oder Drahtgeflechte (Vogelschutzgitter) muss verhindert werden, dass Mäuse, Ratten, Marder und Vögel die Isolation zerstören können.

### 3.4 Lüftungssteuerung

Am besten wäre es, wenn sich die Lüftung ohne Eingriffe selber steuern würde. Das ist aber bei der Schwerkraftlüftung unmöglich. Tiefe Aussentemperaturen verlangen eine Drosselung. Zum Steuern eignen sich die Zuluftöffnungen und die Drosselklappe im Kamin bzw. verstellbare Firstschlitze. Die Drosselklappe wird nur wenige Male im Jahr zur **Grobregulierung** verstellt, nämlich bei starker Bise oder sehr grosser Kälte. Mit der **Feinregulierung** über Tore, Fenster und Klappen werden Temperatur- oder Windveränderungen ausgeglichen.

Der Grad der Kondensatbildung an Fenster und Türen ist an kalten Tagen ein Steuerungshinweis. Falls der Stall nur schwach durchlüftet ist, muss

die Luftfeuchtigkeit durch die Wasserdampfabgabe der Tiere (323 g/h je GVE) stark ansteigen. Die am schlechtesten isolierten Bauteile werden zuerst feucht.

In einem gewissen Rahmen regelt sich die Schwerkraftlüftung selber. Falls die Drosselung zu stark ist, wird der Luftdurchfluss reduziert. Damit steigt die Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen, was dann den Auftrieb und damit den Luftaustausch wieder vergrössert. Bei zu schwacher Drosselung ist der Luftaustausch anfangs grösser. Dadurch wird die Temperaturdifferenz verringert und der Luftaustausch wird etwas kleiner. Damit stellt sich je nach Drosselung die Stalltemperatur auf einem höheren oder niedrigerem Niveau ein.

Im Sommer sind die Dampfkamine und erst recht die Firstschlitze wegen der zu geringen Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen praktisch unwirksam [6]. Ganztagsweidebetrieb, offene Fenster, Türen und Tore oder ein Zusatzventilator verschaffen gegenüber der Hitze im Stall Linderung. In Mastställen, in denen wenige Ausweichmöglichkeiten gegeben sind, wird man daher bei der Auslegung des Abluftquerschnittes jeweils an der oberen Grenze bleiben.

Oberstes Prinzip bei aller Steuerung muss sein:

**Es sind im Winter wie im Sommer hohe Luftdurchsätze anzustreben. Die Schadgase, die relative Luftfeuchtigkeit und die Kondensationsgefahr werden so verringert. Man erreicht ein besseres Stallklima und damit gesündere Tiere.** Allerdings sind dann tiefere Stalltemperaturen in Kauf zu nehmen. Die Tiere geben bei tieferen Stalltemperaturen auch weniger Wasserdampf ab.

## 4. Deckenlastige Ställe

### 4.1 Zuluftöffnungen

Deckenlastige Ställe sind fast immer als Anbindestall ausgeführt. Im allgemeinen genügen dann **Schiebetore** in vorwiegend auf der vom Wind abgewandten Stallseite (Osten oder Norden) **und die Fenster als Zuluftöffnungen**. Im Winter wird Zuluft durch Fenster in manchen Ställen als Zug empfunden. Sehr zweckmässig sind tief unten in den Toren liegende jalousieartige Öffnungen von rund 30 cm x 60 cm Grösse (Wetterschutzgitter), um die **Zuluft im Winter**

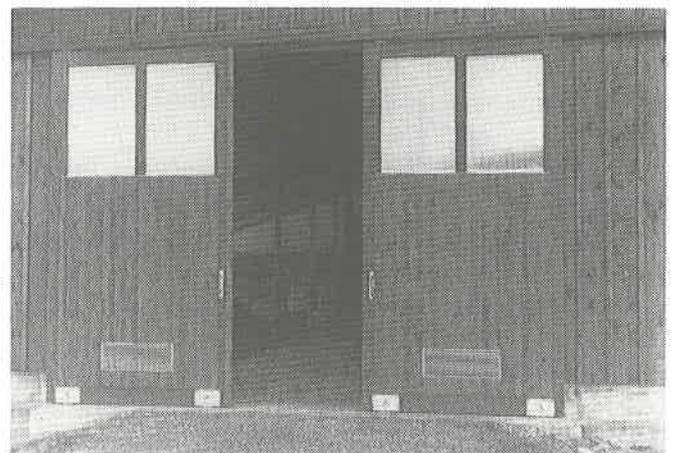


Abb. 5: Zuluftöffnungen im Stalltor.

über die Futterachse, Tenne, zum Kopf der Tiere und nicht durch die Fenster zu führen (Abb. 5). Durch Stroh- oder Heuballen lassen sich diese manchmal unverstellbaren Öffnungen verkleinern. Die Tore müssen gut schliessen. Wegen der aus konstruktiven Gründen nur geringen Isolationsstärke sollten die Tore innen kondensatbeständig verkleidet sein. Manche Landwirte lassen die Zuluft durch **Heuabwurfluken** in den Stall. Das funktioniert aber nur einwandfrei, wenn der Stall sonst dicht ist und die Dampfkamine hoch sind. Andernfalls strömt die Zuluft durch tiefer liegende Öffnungen ein und durch die Heuabwurfluken aus.

Abb. 6: Durch Dampfkamine entlüfteter deckenlastiger Kuhstall.



#### 4.2 Abluftkamine

Falls die Stalldecke nicht überall gleich hoch ist, müssen die Kamine im **höchsten Stallbereich** (Durchfahrt),

um auch aus dieser Höhe die Abluft zu entfernen. Bei gleicher Deckenhöhe gehören die Kamine in den **am wenigsten durchspülten Deckenbereich** (Stalleckenbereich), um dort Luftbe-

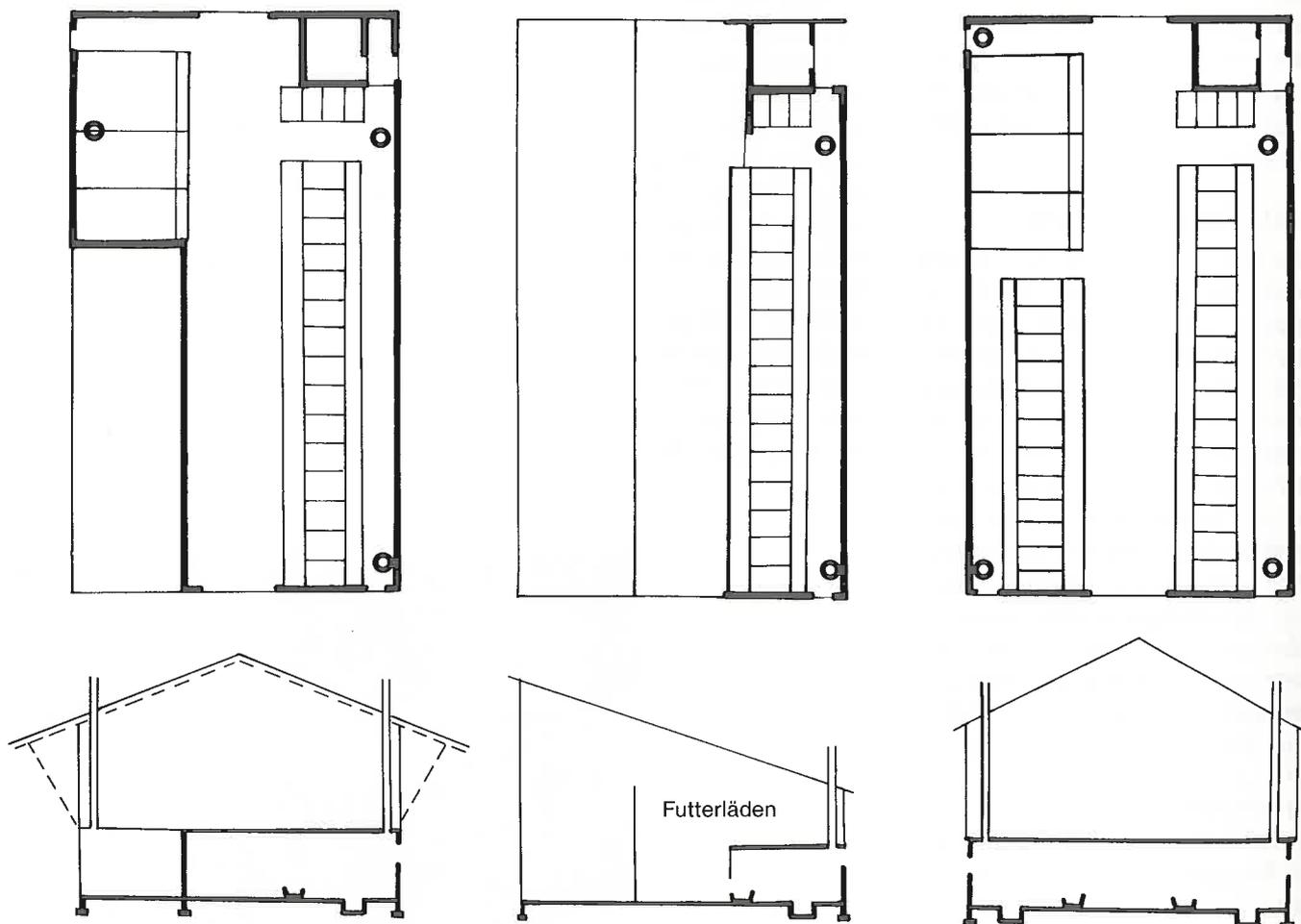


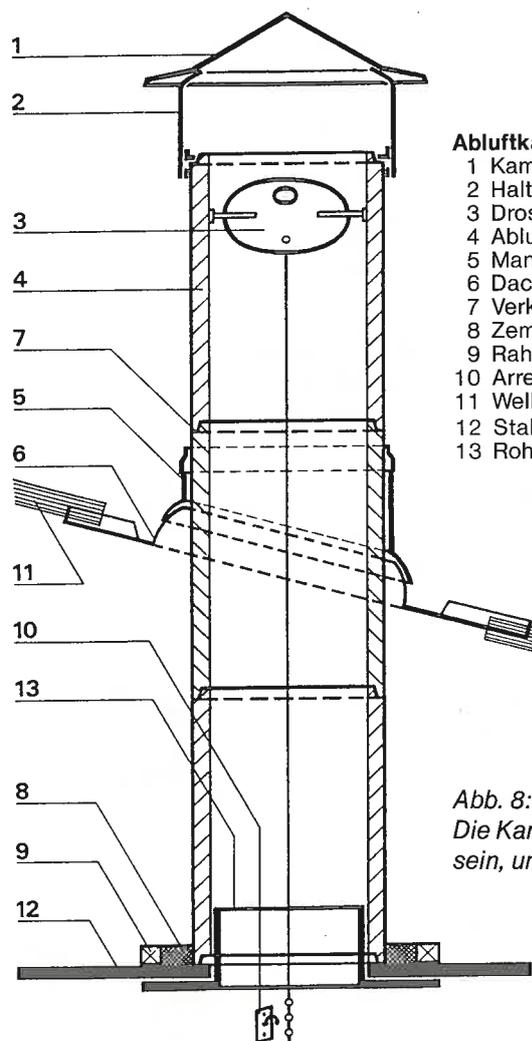
Abb. 7: Kaminanordnung bei deckenlastigen Ställen verschiedener Grundrissgestaltung.

wegung zu verursachen, tote Ecken zu vermeiden und keine Wasserdampfansammlung zu gestatten (Abb. 2, 6 und 7). In Stallbereichen mit Kälbern dürfen Dampfkamine nicht fehlen. Die Kamine sind deckenbündig anzubringen. Sie sollten den First um über 50 cm überragen, wenn sie direkt neben ihm montiert sind. Aus Dachflächen, die vom First weit entfernt sind, sollten sie 1,5 m herausragen.

**Dampfkamine ziehen umso besser, je höher sie sind. 4 m Auftriebshöhe wurde bei deckenlastigen Ställen nicht unterschritten** (Tab. 4). Fallwinde können sonst leichter den Luftstrom im Kamin umkehren. Die Kamine müssen gerade geführt sein, um die Luftabfuhr und das Reinigen zu erleichtern. Falls sie handgefertigt werden, sollte man wasserbeständiges Material verwenden. Quadratische sind rechteckigen Querschnitten vorzuziehen, falls später einmal ein Ventilator eingebaut werden müsste. Bei Neubauten können Blindlöcher in der Decke einen späteren zusätzlichen Einbau von Kaminen erleichtern.

Die Dampfkamine müssen **5 cm stark wärmegeämmt** sein (entspricht einem k-Wert von  $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), damit die warme Abluft in ihnen nicht kondensiert, kein Kondensat abtropft und der Strömungswiderstand nicht verstärkt wird. Die Drosselklappe sollte im geschlossenen Zustand noch 20% des Kaminquerschnitts offen lassen und im oberen Teil des Kamins montiert sein, um einem Kaltluft-einfall vorzubeugen (Abb. 8).

Je grösser der **Kaminquerschnitt** ist, umso kleiner ist die Luftgeschwindigkeit und damit der Reibungswiderstand, denn er verändert sich quadratisch zur Luftgeschwindigkeit. Kaminverengungen, Umlenkungen, Abdeckungen, Schutzgitter, rau-



#### Abluftkamin

- 1 Kamindächli
- 2 Halterung zu Kamindächli
- 3 Drosselklappe
- 4 Abluftkamin
- 5 Manchette
- 6 Dachanschluss
- 7 Verklebung Abluftkamin
- 8 Zementmörtel
- 9 Rahmen aus Vierkantholz  $10 \times 10 \text{ cm}$
- 10 Arretierung Drosselklappe an Stallwand
- 11 Welleternit-Dach
- 12 Stalldecke
- 13 Rohrfutter

Abb. 8: Dampfkaminausbildung.  
Die Kaminwand muss 5 cm stark isoliert sein, um Kondensation zu verhindern [7].

he Wände und Strömungshindernisse erhöhen den Luftwiderstand. Andererseits kosten grosse Durchmesser mehr, auch gestatten sie eher unerwünschten Luftrückfluss. – Welches sind die richtigen Annahmen?

Nach der Untersuchung (Tab. 4) kommt man mit weniger Kaminquerschnittsfläche als nach Norm [9] aus folgenden Gründen aus:

Die Kaminquerschnitte müssen nicht für die Sommerluftrate ( $2$  oder  $3^\circ \text{ C}$  Temperaturdifferenz) bemessen sein, denn im Sommer entweicht nicht alle Luft durch die Kamine. Fenster, Türen und Tore sind dann weit geöffnet. Frühestens werden bei einer Temperaturdifferenz zwi-

schen innen und aussen von  $10^\circ \text{ C}$  die Kamine als einzige Abluftöffnung in Anspruch genommen. Da bei höheren Temperaturdifferenzen die erforderliche Luftmenge kleiner und der Auftrieb grösser wird, würde **eine Bemessung der Kamine für die Temperaturdifferenz von  $10^\circ \text{ C}$**  ausreichen. Es ist somit angebracht, für die Berechnung des Kaminquerschnittes die Luftraten von Tab. 2 zu benutzen. Die Schweizerische Stallklimanorm geht von Temperaturdifferenzen von  $5$  und  $10^\circ \text{ C}$  aus [9]. Im ersten Fall ist die Luftmenge und damit der erforderliche Abluftquerschnitt um das Doppelte höher. Aber bei einer Temperaturdifferenz von  $10^\circ \text{ C}$  zwischen innen und aussen wird

nicht alle von den Tieren nach Tab. 2 abgegebenen Wärme durch den Kamin abgeführt. Rund 10 bis 15% davon gehen bereits als Transmissionswärme verloren.

Schliesslich liessen sich bei unterschiedlicher Temperaturdifferenz und unterschiedlicher Auftriebshöhe an den **elf gemessenen runden vorgefertigten Kaminen Geschwindigkeitsverringern durch Strömungsverluste auf 51% ausmitteln**. Ungefähr 47% ergeben theoretische Berechnungen [2]. Daher ist die weiter oben übernommene und in Formel 3 eingebaute Geschwindigkeitsverringern auf 50% eher gerechtfertigt als die der Schweizerischen Stallklimanorm zugrunde liegende auf 32% [9,10]. Bei diesem Unterschied wäre der Kaminquerschnitt nach der Norm um rund 50% höher.

Damit und mit den in der Schweiz handelsüblichen drei Kamindurchmessern reichen die vorgefertigten Kamine je nach Auftriebshöhe für die in Tab. 5 angegebene Anzahl GVE aus. Bei 4 m Auftriebshöhe (untere Grenze) ergeben sich 290 und bei 8 m (obere Grenze) 200  $\text{cm}^2/\text{GVE}$  als spez. Kaminquerschnittsfläche. **Als Mittel gelten somit bei deckenlastigen Ställen rund  $250 \text{ cm}^2/\text{GVE}$** . Das deckt sich mit der Praxis [7], wobei in der Praxis nach Tab. 4 grosse Abweichungen zulässig sind.

## 5. Hallenställe

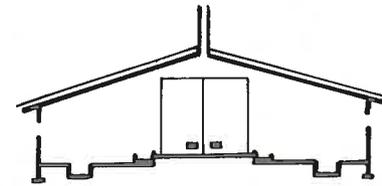
### 5.1 Zuluft

Im Anbindestall fliesst alle Zuluft nur über Tore und Fenster zu (Abb. 9 und 10), im Laufstall meistens über Trauföffnungen

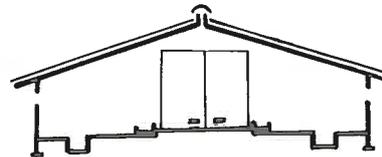
**Tabelle 5: Anzahl GVE in Abhängigkeit von Kamindurchmesser und -höhe**

Durchmesser m	Fläche $\text{m}^2$	GVE bei Auftriebshöhe	
		4 m	8 m
0,43	0,15	5	7
0,53	0,22	8	11
0,64	0,32	11	16

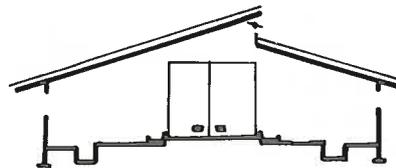
*Abb. 9: Lüftungsmöglichkeiten bei wärmegeämmten Hallen-Anbindeställen. Firstschlitzausbildung beim Satteldach nach Sauter.*



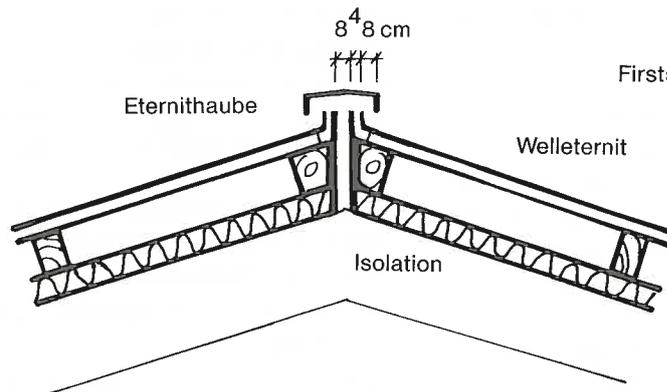
Kamin, 1,5 m über Dach



Firstschlitz



Shedspalt



Firstschlitzausbildung

(Abb. 11 und 12). Die Fenster oder Fensterbänder sind im Laufstall fast immer fest verschlossen. Trauföffnungen mit **Leitplatten** von über 1,5 m Län-

ge, die isoliert sind oder aus Isolationsplatten bestehen, **verringern die Zugfahr** (Abb. 13). In manchen Fällen ist die gesamte Leitplatte verstellbar, oder Klap-

pen vor oder hinter der Leitplatte regulieren die Luftmenge.

## 5.2 Abluft

Die Abluft entweicht in beiden Stalltypen (Anbinde- und Laufstall) über Kamine oder Firstschlitze. (In Rinder-, Schweine- und Geflügelställen (Ausnahme Trutenställe) findet man ganz selten Schwerkraftlüftungen. Hier werden Ventilatoren vorgezogen.)

Mit Kaminen ist die Entlüftung einfacher und weniger problematisch als mit Schlitzen. Allerdings sehen zu hoch über das Dach ragende Kamine schlecht aus. Die Auftriebshöhe liegt zwischen 2,5 bis 4,5 m (Tab. 4). **3 m Auftriebshöhe sollte nie unterschritten werden.** Wegen der geringen Auftriebshöhe sind bei der Bestimmung der je Kamin zulässigen GVE die Angaben für die Auftriebshöhe 4 m der Tab. 5 angezeigt (**300 cm<sup>2</sup>/Kuh**).

Bei den **Firstschlitzen** muss zwischen Anbinde- und Laufställen unterschieden werden. Während die Schlitzbreite sich nicht unterscheiden muss, liegt der Schlitz bei Anbindeställen zwischen 4,5 und 5 m und bei Laufställen zwischen 6 bis 7,5 m über dem Stallboden. **Bei den Anbindeställen waren die Schlitzbreiten auf Satteldächern unverstellbar** im Gegensatz zum Schlitz beim Sheddachstall. Der unverstellbare Firstschlitz wird mit einer Eternithaube überdeckt. **Stall- und Dachhinterlüftung werden gleich hoch geführt, speziell wenn die Isolation aus Mineralwolle besteht** (Abb. 10 und 11). Die wasserdampfhaltige Abluft könnte bei spezieller Wetterlage in den Dachhinterlüftungsraum eindringen und die Isolation durchfeuchten.

Der bis zu 60 cm breite **Firstschlitz in den Laufställen** kann nicht nur als Abluftöffnung, son-

Abb. 10: Anbindestall mit Firstschlitz, Zuluft durch Tor und Fenster.

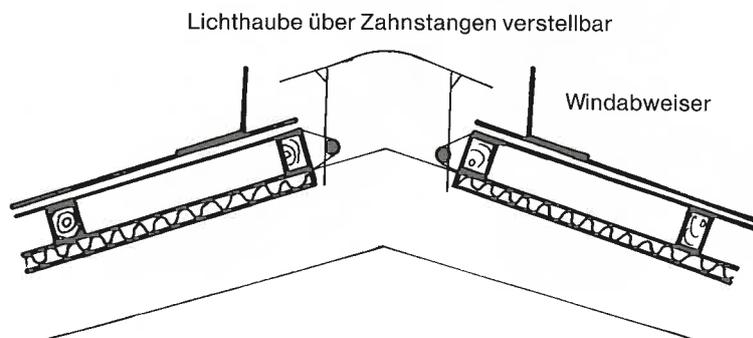
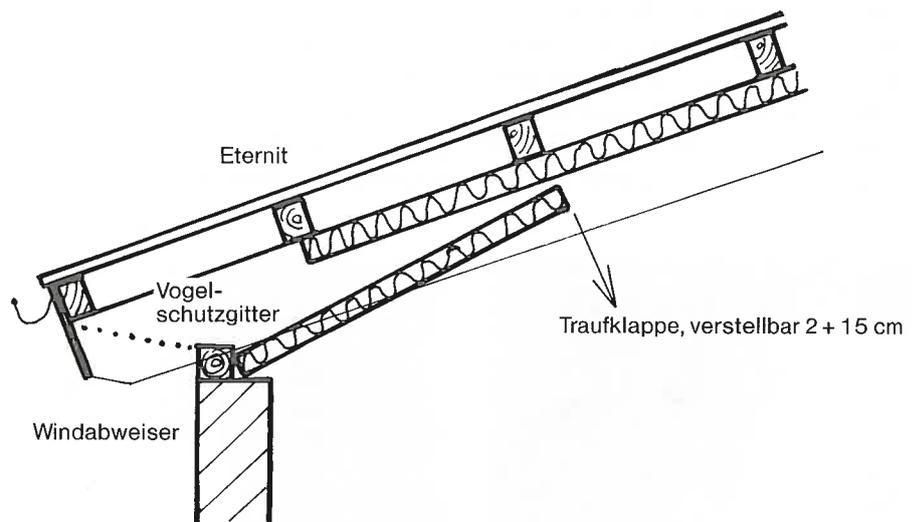
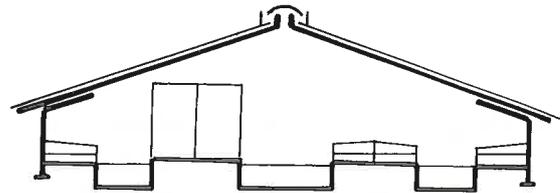


Abb. 11: Schlitzausbildung von Traufe und First für isolierte und unisolierte Laufställe nach Rittel.

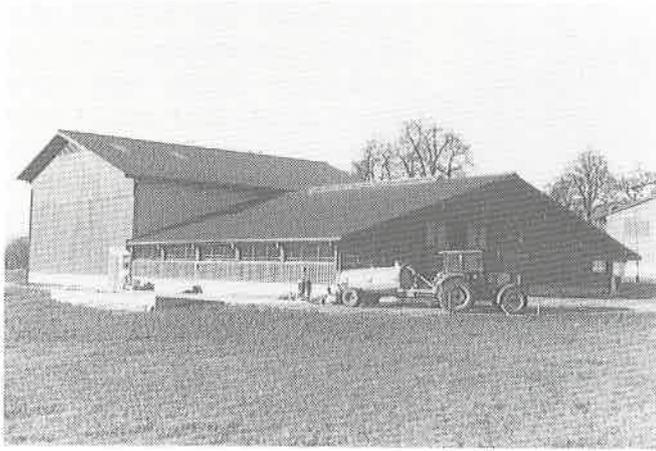


Abb. 12: Trauf-Firstlüftung, fest geschlossene Fenster im Laufstall.

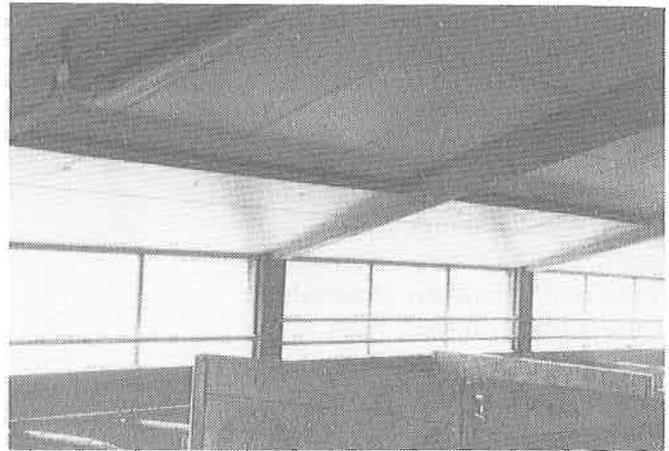


Abb. 13: Unverstellbare 1,5 m lange Luftleitplatte aus Schaumstoff. Die Zuluft wird durch Klappen an der Wand reguliert.

dern auch als **Lichtband** dienen (Abb. 14 und 15). Er ist mit einer **transparenten Kunststoffkuppel** (Stegplatte in manchen Fällen) überdeckt. **Beiseitige Windabweiser**, die bis über den Rand der Kuppel ragen, bewirken einen besseren Abzug und verhindern Regen- und Schneezutritt (Abb. 12). Entweder besitzt der Firstschlitz zur Drosselung eine Klappe, oder beide Schlitz-

schen Dach und Haube sind durch Klappen verstellbar, oder die Haube selber kann verstellt werden. Als eigentliche Schlitzfläche gilt die kleinere der beiden Flächen von Firstschlitz und den beiden Schlitz zwischen Dach und Haube zusammen. Die Klappen im Firstschlitz müssen ebenfalls transparent sein. Da die Haube dem Wind und grossen Temperaturschwän-

kungen gewachsen sein muss, sind wetterfestes Material und starke Verankerung zu empfehlen. Schnee taut wegen der austretenden Wärme im Schlitzbereich.

Über die erforderliche **Schlitzbreite bzw. -fläche** bestehen in der Literatur keine übereinstimmenden Angaben. Die einen Autoren machen sie von der Stallbreite und die anderen von der Tierzahl und der Stallhöhe abhängig [8]. Die spezifische Firstschlitzfläche bewegte sich nach der Untersuchung bei Anbindeställen zwischen 427 und 578 cm<sup>2</sup>/Kuh und bei Laufställen zwischen 774 bis 1286 (Tab. 4). **Damit ist der spezifische Abluftquerschnitt bei den Schlitz im Anbindestall doppelt so gross und im Laufstall viermal so gross wie bei den Kaminen.** Das ist einleuchtend, da die Firstschlitze kaum Auftriebshöhe besitzen und im Falle der Laufställe im Sommer alle Luft durch den Firstschlitz entweichen muss, da die Fenster fest geschlossen sind. Die beiden Traufschlitzflächen (Zuluftöffnungen) müssen zusammen gleich wie oder grösser als die Firstschlitzfläche sein.

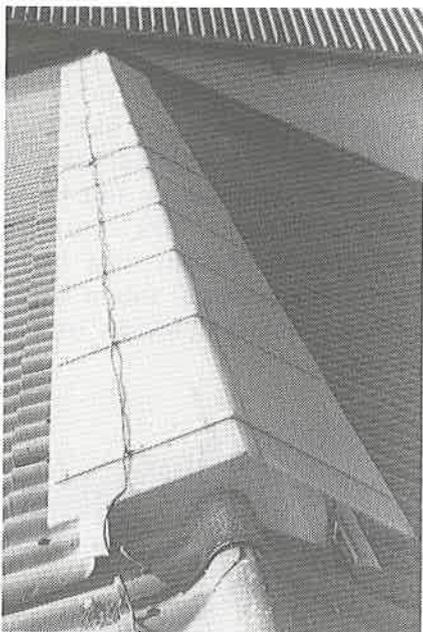


Abb. 14: Transparente Firstschlitzabdeckung, 15 cm über dem Dach, ohne Windabweiser. Die Drosselklappe im Firstschlitz ist ebenfalls transparent.



Abb. 15: Firstschlitzabdeckung, Wirkung als Lichtband.

## 6. Kaltställe

Als Kaltställe werden Ställe bezeichnet, deren Innentemperatur in jedem Zeitpunkt des Jahres nur wenige Grad über der Aussentemperatur liegt. Im Winter können es 3 bis 8° C sein. **Der Trauf-Firstschlitzstall als Kaltstall unterscheidet sich vom wärmegeprägten Laufstall nur durch die fehlende Isolation und nicht durch das Lüftungsprinzip.**

In der Praxis trifft man aber oft entweder isolierte Decken (6 cm und mehr) oder gar isolierte Decken und Wände an, um im Stall im Winter die Temperatur höher halten zu können, ohne dass die Decke tropft oder die Wände beschlagen sind. Da die Stalltemperatur unter den Gefrierpunkt fallen kann, müssen Wasserleitungen im Erdreich verlegt und isoliert oder beheizbar sein.

Als weiterer Unterschied zu den wärmegeprägten Hallenlaufställen (Tab. 3 und 4) treten sonst nur noch die grössere Durchschnitts-Stallhöhe von bis 6 m, das grössere spez. Stallvolumen von bis zu 85 m<sup>3</sup>/GVE und auch in einem Fall die hohe Lage des Schlitzes von bis zu 10 m hervor. Die Traufschlitze sind bis zu 40 cm breit. Die spez. Firstschlitzfläche liegt zwischen 1430 und 3540 cm<sup>2</sup>/GVE. Geht man von einem nur fünfmal höheren Luftdurchsatz gegenüber den Kaminen entsprechend der fünfmal kleineren Temperaturdifferenz von 10 zu 2° C aus, so würde man bereits auf 1250 cm<sup>2</sup>/GVE kommen. **Mehr als 1500 cm<sup>2</sup>/GVE Firstschlitzfläche sind daher zu empfehlen.**

Abb. 16: Offenfrontstall für Schweine, südseitig offen.



## 7. Offenställe

Als Offenställe gelten Kaltställe, bei denen eine Wand oben teilweise offen bleibt. Bei Offenställen sind wie im Kaltstall die Tiere nicht angebunden und liegen zudem auf Tiefstreue. Im Tierbereich sind die Wände geschlossen. Im Sommer wird bei zu wenig Luftbewegung einer Fliegenplage Vorschub geleistet. Leichter Durchzug wäre dann gut. Er ist durch Luken oder Tore möglich (Abb. 16).

## 8. Planungsbeispiel

Als Beispiel für die Ausstattung mit Dampfkaminen soll ein Stall mit nach Tab. 2 umgerechneten 30 GVE dienen. Der Stall misst im Grundriss rund 24 x 13 m, ist deckenlastig und 2,7 m hoch. Es werden vier Kamine von 6 m Höhe vorgesehen. Nach Tab. 5 würden vier Kamine Durchmesser 53 cm für gar 36 GVE und vier Kamine Durchmesser 43 cm für nur 24 GVE ausreichen. Da aber die Angaben in Tab. 5 grosse Schwankungen zulassen, sind beide Durchmesser

möglich. Für einen entsprechenden Kaltstall mit einer möglichen Firstschlitzlänge von 20 m wäre eine Firstschlitzbreite von über  $30 \times 1500/2000 = 23$  cm nötig.

### 8.1 Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

**Vier Dampfkamine** von 6 m Länge und 43 cm Durchmesser kosten mit Montage nach Offerte rund Fr. 8000.-. Als **Jahreskosten** fallen dafür aus Abschreibungen (25 Jahre) und Zinsen (5% von 60% der Investitionskosten) 7% der Investitionskosten an, nämlich Fr. 560.-.

**Der Einbau von vier Ventilatoren in die Seitenwände** kostet mit Montage rund Fr. 4000.-. Allein aus Abschreibungen (8 Jahre), Zinsen (5% von 60% der Investitionskosten) und Reparaturen (1,5% der Investitionskosten) ergeben sich als Jahreskosten 17% der Investitionskosten, das sind bereits Fr. 680.-. Dazu kommen noch die Stromkosten.

30 GVE benötigen im Sommer rund 10'000 m<sup>3</sup>/h Luft. Dafür ist mit einer Stromaufnahme von 0,6 kW zu rechnen. Unter der Annahme, dass die Ventilatoren das Jahr über zu rund 50% der Vollast laufen, ergeben sich total 2638 kWh.

Demnach errechnen sich bei einem Strompreis von Fr. -.15

(Tag und Nacht gemittelt) Stromkosten von Fr. 394.-. Damit wird bei Ventilatoren das Total der **Jahreskosten** Fr. 1074.-. Es ist also um rund Fr. 500.- höher **bzw. doppelt so hoch wie für Dampfkamine.**

Ein 20 m langes **Trauf-First-Lüftungs-System** kostet je nach Bauart und Bedienungskomfort unterschiedlich viel. Nach gleichem Ansatz wie für die Dampfkamine, allerdings nur mit 15 Jahren Amortisation und 3% Reparaturen, ergeben sich aber **Jahreskosten, die rund zwei-bis dreimal so hoch wie für Dampfkamine** sind. Allerdings besitzt man mit dem Firstschlitz gleichzeitig ein Lichtband.

## 9. Schlussfolgerungen

Die Untersuchung von rund 50 durch Schwerkraft entlüftete Ställe ergab:

- Der Wind ist bei Ställen mit Firstschlitzen und mit Kaminen bei Temperaturdifferenzen zwischen innen und aussen unter 10° C die wichtigste Antriebskraft für den Luftaustausch.
- Auch ab über 10° C Temperaturdifferenz und grosser Auftriebshöhe verstärkt Wind von mehr als 1,5 m/s Geschwindigkeit den Auftrieb.
- Grundrissgestaltung des Stalles und Stallhöhe können bei Kaminentlüftung beliebig sein.
- Bei durch Schwerkraft entlüfteten Warmställen muss wie bei Ställen mit Ventilatoren der Wärmehaushalt stimmen.
- Zu schwache oder mangelhafte Isolation ist meistens für Kondensatniederschlag und Bauschäden verantwortlich. Eine Drosselung der Lüftung verstärkt die Kondensatbildung.
- Grosser Luftaustausch und damit in Verbindung stehende tiefere Stalltemperaturen verringern bei Unterbelegung oder schwacher Isolation die Kondensatbildung.
- Die tiefsten Zuluftöffnungen ziehen am meisten. Daher sollten tief liegende Zuluftöffnungen bei der Luftzufuhr bevorzugt eingeplant werden.
- In Anbindeställen gelangt die Luft im Winter am besten durch Öffnungen unten in den Toren in den Futtergang und von dort zu den Tieren.
- Bei den Laufställen waren meistens Leitplatten unter der Decke als Zuluftöffnungen eingebaut.
- Kamine und Firstschlitze funktionierten als Abluftöffnungen zufriedenstellend.
- Kamine gehören in den höchsten Deckenbereich und dort in den am wenigsten durchspülten Teil.
- Bei innenseitig kunststoffbeschichteten Abluftkaminen sind die Strömungsverluste weniger hoch, als sie nach Stallklimanorm zu berücksichtigen wären.
- Für die Berechnung des Kaminquerschnittes kann man von 10° C Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen ausgehen, da bei kleineren Temperaturdifferenzen meistens noch Tore, Türen und Fenster zur Luftabfuhr beitragen.
- Obwohl die erforderlichen Abluftquerschnitte je GVE (Kuh à 600 kg) in weiten Grenzen schwanken, stellten sich doch folgende Mittelwerte heraus, die als Planungsgrundlage dienen können: **250 cm<sup>2</sup>/GVE bei Kaminen in deckenlastigen Ställen, 300 cm<sup>2</sup>/GVE bei Kaminen in Hallenställen, 500 cm<sup>2</sup>/GVE bei unverstellbaren Schlitzen in Hallen-Anbinde-**

**ställen, 1000 cm<sup>2</sup>/GVE bei verstellbaren Schlitzen in Hallen-Laufställen und über 1500 cm<sup>2</sup>/GVE in Kaltställen.**

- Dampfkamine lassen sich vom Landwirt einbauen. Sie benötigen keinen Strom und kaum Wartung. Sie bilden das billigste Lüftungssystem.

## 10. Literatur

- [ 1] Bartussek, H., Stallklima und Lüftung, wichtige Umweltfaktoren in der Rinder- und Schweineproduktion, Beratungsservice Heft 11, Landtechnik und Bauwesen Folge 10, Gumpenstein, 1985
- [ 2] Ende, G., Lufttechnik, A. W. Gentner Verlag, Stuttgart 2/1960
- [ 3] Göbel, W., Stallgase und nicht funktionierende und funktionierende Stalllüftungen, FAT-intern, Tänikon, 1972
- [ 4] Göbel, W., Schwerkraftlüftung – Ist sie sinnvoll?, FAT-intern, Tänikon, 1981
- [ 5] Klöppel, R., Stallklima I und II, Eigenverlag, Bredeneek, 1969
- [ 6] Mothes, E., Stallklima, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 1973
- [ 7] Polyair, Firmenprospekt (200 cm<sup>2</sup> Kaminquerschnitt je 500 kg Kuh bei H > 6 m)
- [ 8] Rittel, L., Trauf-First-Lüftung, etwas für selbstbauwillige Landwirte?, dlz, Seiten 61 und 1652, München, 1981
- [ 9] Schweiz. Stallklimanorm, ETH, Zürich, 1983
- [10] Zeisig, H. D., Kreitmeier, J., Stallklima und Fragen der Wärmerückgewinnung bei Ställen mit Traufen-First-Lüftung, Tätigkeitsbericht 1981 der Landtechnik Weihenstephan, Hf. 1/1982, Freising.