

Stalllüftungstechnik und Störfaktoren

W. Göbel, A. Schmidlin

1. Allgemeines

Ein Stall dient dazu, die Tiere vor Schnee, Hagel, Regen, Hitze, Frost und Wind zu schützen. Durch Lüftung werden die Tiere unter ihrem Schutzschirm ausreichend mit Sauerstoff versorgt. Die Lüftung entfernt auch den im Stall entstehenden Wasserdampf, das Kohlendioxyd und die Geruchstoffe. Der Luftführung kommt somit sehr grosse Bedeutung zu. Da die Stallbelegung aus wirtschaftlichen Gründen in letzter Zeit dichter wurde und die Luftführung im Sommer und Winter optimal sein muss, kann man bald von «belüfteten Tieren» oder von «Stallbelüftung» – analog der Heubelüftung – sprechen.

2. Lüftungssysteme (Abb. 1):

- Fensterlüftung
- Schachtlüftung (Auftrieblüftung, Schwerkraftlüftung)
- Ventilatorsauglüftung (Unterdrucklüftung, Sauglüftung)
- Ventilatordrucklüftung (Ueberdrucklüftung, Drucklüftung)
- Ventilatorsaug- und Ventilatordrucklüftung (Gleichdrucklüftung)
- Ventilatorlüftung mit Umluftbeimischung (Turbolüftung)

Es ist von Vorteil, wenn die Stalllüftungsapparatur einfach zu montieren, leicht zugänglich und ihre Bedienung narrensicher ist. Bei Stromausfall sollten Notluftklappen die Frischluftzufuhr gewährleisten. Die Schachtlüftung ist häufig nicht leistungsfähig genug, ebenso die Fensterlüftung. Beim Saugsystem geht die Luft nicht immer den vorgeschriebenen Weg. Wenn der Saugventilator im Kamin angebracht ist (günstig wegen Schwerkraft und Wind), werden die besten Erfolge erzielt. Das Saugsystem hält die Nebenräume gestankfrei. Es besteht keine Kondensationsgefahr. Das Drucksystem erlaubt, die Strömungsrichtung festzulegen und die

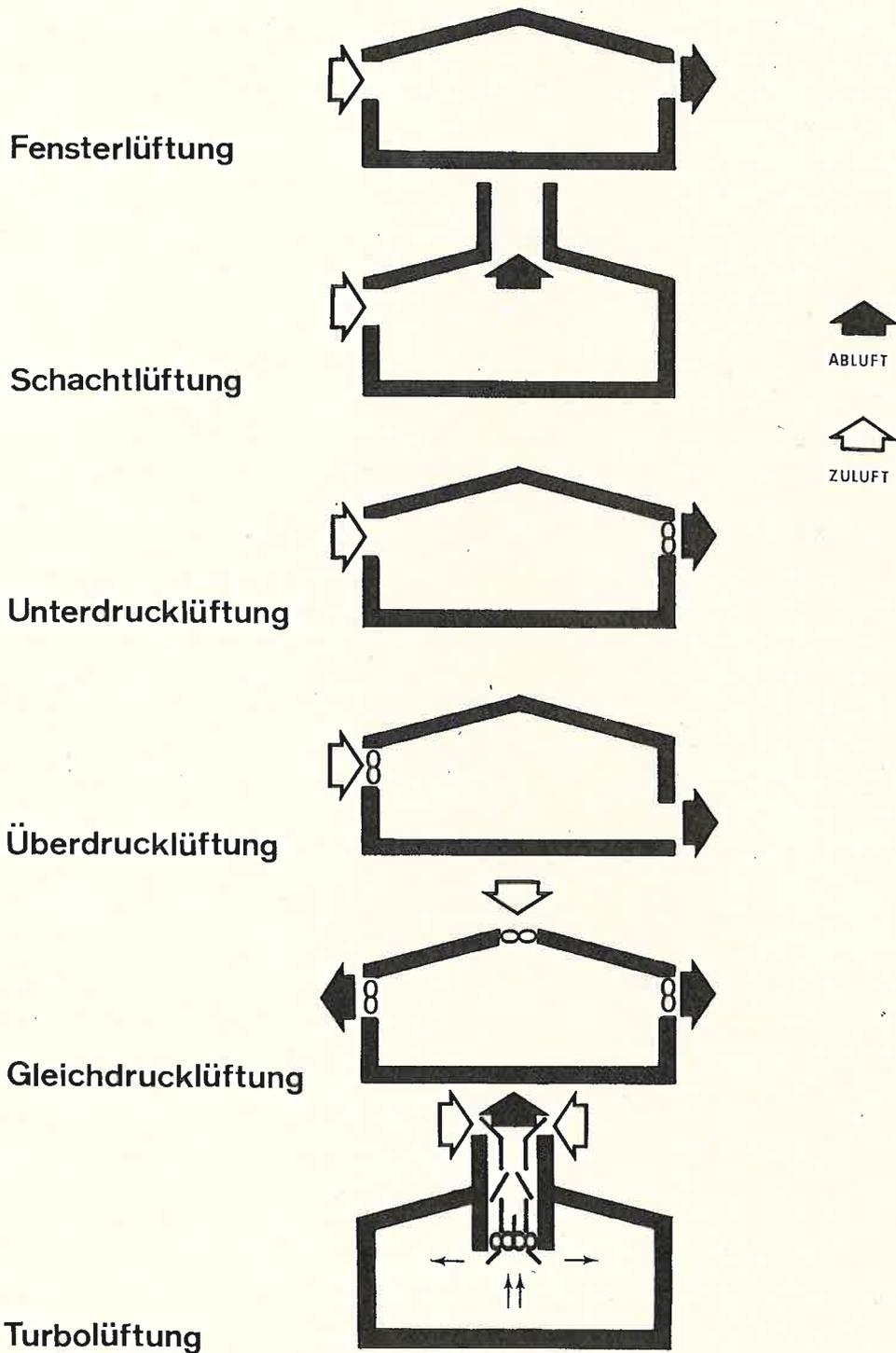
Luft gleichmässig in den Stall strömen zu lassen. Dieses System ermöglicht auch das Vorschalten einer Heizung; allerdings wird man ohne Zuluftkanäle selten auskommen. Mit dem Drucksystem lässt sich leichter Zugluft im Stall vermeiden. Ausserdem könnte eine Umluftregelung mit ihm verbunden werden. Auch hat das Drucksystem den Vorteil, dass es staubfrei bleibt und keine Filter benötigt, die den Luftdruck verringern. Das Gleichdrucksystem vereinigt gewisse Vorteile von Saug- und Druckluftsystem (kein Gestank und Feuchtigkeitsniederschlag in Nebenräumen, Koppelung von Heizung und Lüftung ist leicht möglich, kein Ansaugen von Güllegasen). Das Turbo-Lüftungssystem benötigt keine Kanäle. Der Spezial-Ventilator fördert einerseits die Frischluft mit verhältnismässig hoher Geschwindigkeit (4–5 m/s) in den Stallraum und saugt andererseits gleichzeitig die verbrauchte Luft ab. Der Frischluftstrom ist gut steuerbar. Ein Thermostat regelt die Umluftsteuerung und die Heizung. In Abb. 2 werden die Möglichkeiten einer symmetrischen Lüftungsöffnungsanordnung für einen Stall mit Satteldach dargestellt.

3. Störfaktoren

Jedes Lüftungssystem hat spezifische Vor- und Nachteile. Folgende allgemeine Störfaktoren können die Stalllüftung beeinträchtigen:

- Wind auf Lüftungsöffnungen
- Ungünstige Luftströmung im Stall
- Undichte Ställe
- Aufgeheizte Luft
- Mangelhafte Luftmengenregelung
- Schlechte Anordnung und Ausbildung der Abluftöffnungen
- Kondenswasserbildung an den Lüftungsöffnungen
- Güllegase im Stall (falsche Auslegung des Entmischungssystems)

Abb.1: DARSTELLUNG VERSCHIEDENER SYSTEME



3.1 Wind

Die Abbildungen 3a, 3b, 4a und 4b zeigen, dass der Winddruck auf den Ventilator bei senkrechter Anströmung mehr als 10 mm WS und der Windsog 6 mm WS betragen kann. Wir werden einen Viehstall nicht windexponiert erstellen und auch nicht den Ventilator in eine Wand einbauen, die quer zur Hauptwindrichtung steht, denn der Wind beeinträchtigt das Lüftungssystem sehr stark. Zum Beispiel erhält gemäss Abb. 4a ein Gebäude mit Satteldach auf die Giebelwand C einen maximalen Winddruck von 11 mm WS, wenn die Windrichtung φ für diese Wand mit 90° angesetzt wird. Der maximale «Winddruck» auf diese Wand beträgt 6 mm WS (Sog), wenn der Stall quer zur Hauptachse (0°) angeströmt wird. Der Einbau mehrerer Ventilatoren symmetrisch zum Stallquerschnitt ist nicht nur aus strömungstechnischen Gründen von Nutzen, sondern auch wegen des nie ganz zu umgehenden Winddruckes. Bei einem Paar symmetrisch angeordneten Ventilatoren kann leicht eine Winddruckdifferenz von 16 mm WS entstehen. Wenn es sich um Druckventilatoren handelt und die Abluft durch einen Kamin im Dachfirst strömt, wäre der Wind dem Lüftungssystem zwar förderlich (siehe Abb. 5). Ungünstig wirkt sich der Winddruck gemäss dieser Abb. bei einem symmetrischen Saugsystem aus.

Um mit einem einzigen Ventilator auszukommen, wird man bei einem Drucksystem den Ventilator in eine windgeschützte Giebelwand einbauen und daran einen Belüftungskanal anschliessen, der längs der gesamten Decke in der Stallmitte verläuft. Der Kanal erhält zum Stallraum hin Abzweigungen, an deren Enden Schieber oder Anemostaten angebracht sind. Dadurch kann längs des Kanals jede Öffnung zum Stall wegen des Staudruckes, der sich längs des Kanals unterschiedlich einstellt, so verstellt werden, dass überall gleich viel Luft durchströmt (Abb. 6). Abb. 7 vermittelt einen Ueberblick über die Möglichkeiten des Luftein- und Auslasses mit Sauglüfter.

3.2 Ungünstige Luftströmung im Stall

Sie wird durch Stalleinbauten wie Buchtenwände und Futterkrippen erzeugt, ferner durch die Tiere und die von ihnen freigegebene Wärme, durch Balkenlage und Leuchtröhren, die den Luftstrom senkrecht ableiten können, schliesslich durch das Nichtablösen von der kalten Decke (Coanda-Effekt) und den Zusammenstoss zweier Luftströme. Wenn die Luft im Stallquerschnitt gesehen asymmetrisch einströmt, wird der Stall in der Regel nicht gleichmässig durchlüftet (besonders für den Aufenthaltsbereich der Tiere wichtig). In breiten Ställen werden sich sekundäre Luftwalzen trotz symmetrischer Belüftung bilden.

3.3 Undichte Ställe

Fugen in der Decke, geöffnete Fenster und Türen lassen die Luft ungenutzt entweichen. Das beste Lüftungssystem funktioniert dann nicht mehr. Deckenfugen werden auch durch den Einbau einer Dampfsperre geschlossen, zum Beispiel mit einer Aluminiumfolie.

3.4 Aufgeheizte Luft

Die Frischluft sollte möglichst nicht aus dem Dachzwischenraum oder unmittelbar über dem Dach angesaugt werden, da sie dort im Sommer durch Sonnenstrahlung häufig zu stark vorgewärmt wird. Die Tiere reagieren bei hohen Temperaturen schneller mit einem Leistungsabfall als bei tiefen Temperaturen.

3.5 Mangelhafte Luftmengenregelung

Die durchströmende Luftmenge ist im Sommer zirka achtmal grösser als im Winter (im Winter etwa dreifacher Luftwechsel in der Stunde). Die Leistung des Lüftungssystems muss diesem Umstand angepasst sein. Neben einer Drehzahländerung bietet sich als Regelungsmöglichkeit das Abstellen einiger Ventilatoren an – sofern mehrere vorhanden sind – oder der Einbau von Drosselklappen im Kanal oder eine Umluftregelung. Die Drehzahländerung eignet sich als Regelung am schlechtesten, da der Ventilator nur bei einem bestimmten Druck das Maximum seiner Leistungsaufnahme erreicht. Ueberhaupt ist die Ventilator Kennlinie genau zu beachten, da mit steigendem Druck die Leistung eines Ventilators rasch abnimmt. In Gebieten mit grossen Temperaturunterschieden zwischen Sommer und Winter bietet die Umluftregelung Vorteile. Im Winter wird die Zuluft durch die Vermischung mit einem Teil der Abluft vorgewärmt, so dass die Gefahr von Zugluft verringert wird.

3.6 Schlechte Anordnung und Ausbildung der Abluftöffnungen

Unnötige Widerstände sind zu vermeiden, daher werden die Abluftöffnungen frei und möglichst ohne Rohranschlüsse ausgebildet. Der Ansaugbereich eines Ventilators ist nicht gross. Deshalb sind Saugventilatoren dort anzubringen, wo sich verbrauchte Luft ansammelt. Eine Firstentlüftung ist sehr günstig, da sich unter der Decke wasserdampfgesättigte Luft sammelt und durch einen Ventilator mit geringem Leistungsaufwand unter Ausnutzung des thermischen Auftriebes hoch hinausgeschleudert werden kann. Dadurch wird der Gestank durch die gründliche Vermischung mit der Aussenluft vermindert. Bei Ställen mit Spaltenboden wird der Kamin bis unter den Spaltenboden gezogen. Der Kamin verengt sich gegen unten, da der volle Querschnitt im Winter nicht nötig ist. In Stalldeckenhöhe sind Schieber für den grösseren Luftstrom im Sommer in den Kamin eingebaut (siehe Abb. 7). In neuen Ställen bleiben die Fenster fest verschlossen oder werden durch Glasbausteine ersetzt.

Abb.2:

MOEGLICHKEITEN EINER SYMMETRISCHEN LÜFTUNGSAN-
 ORDUNG FÜR EINEN STALL MIT SATTELDACH

SYSTEMANALYSE

SYSTEM	SCHWERKRAFT »GÜNSTIG«	WIND »GÜNSTIG«	ZUTRITT WARMER DACHLUFT	KURZSCHLUSS MÖGLICH	KAMINE NOTWENDIG	KANÄLE NOTWENDIG
D _D	● ●	● ●	▲		■	
G _G				▲		■
L _L				▲		
L _G		●				■
L _D	● ●				■	
G _D	● ●				■ ■	
G _L						■
D _L			▲		■	
D _G			▲		■ ■	

←○ ZULUFT
 →● ABLUFT

D = DECKE G = GIEBELWAND L = LAENGSWAND

Abb.3:

MAXIMALE WINDLAST

DIE LASTEN WERDEN KAUM EINMAL ERREICHT, SIE WERDEN FÜR STATISCHE BERECHNUNGEN ABER EINGESETZT.

Abb.3a: BELASTUNGSANNAHME NACH SIA 160 II. 4

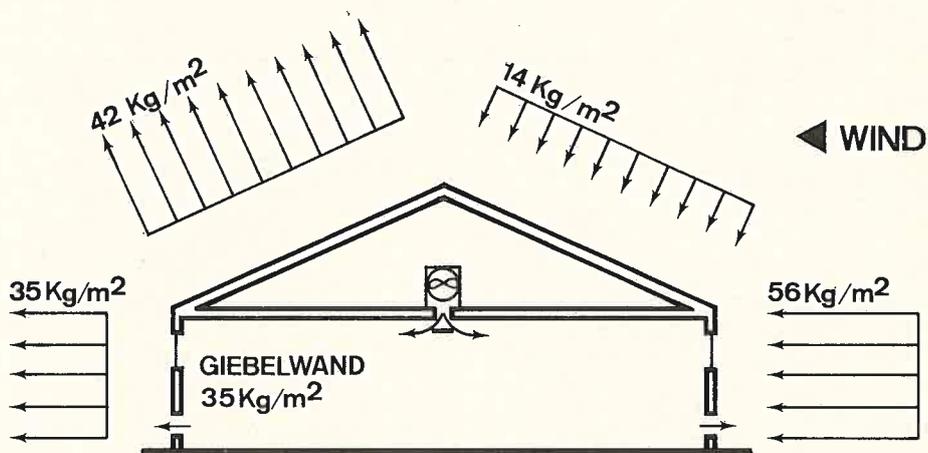


Abb.3b: BELASTUNGSANNAHME NACH DIN 1055.4

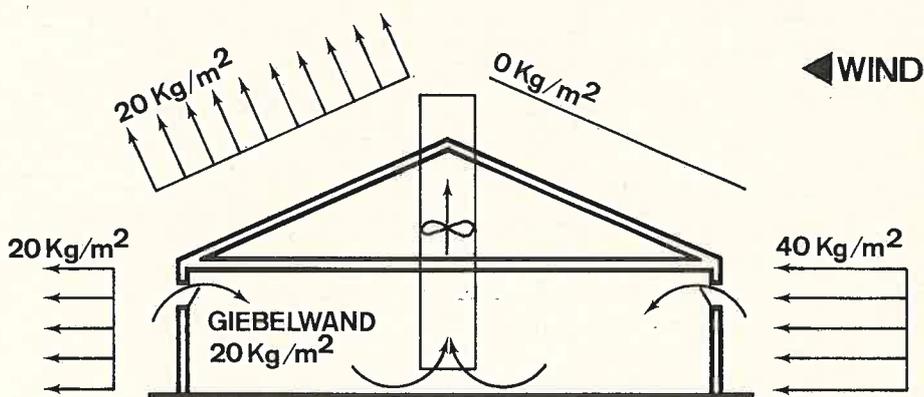


Abb.4:

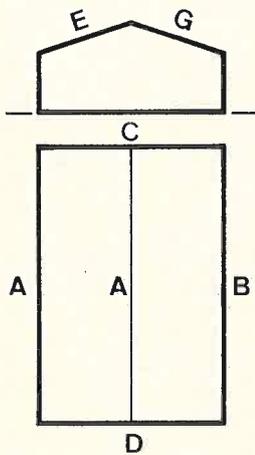
DRUCK AUF VENTILATORÖFFNUNGEN

Staudruck $q = c \cdot \frac{\gamma}{2 \cdot g} v^2 = c \cdot 12$ wobei:

- c = Objektbeiwert
- $\gamma = 1,21 \text{ Kg/m}^3$ spez. Gewicht der Luft
- g = 9,81 m/sec² Erdbeschl.
- v = Windgeschw. in m/sec

Wir rechnen mit einer maximalen Windgeschwindigkeit $v = 14 \text{ m/sec} \approx 50 \text{ km/h}$ und setzen die Objektbeiwerte nach SIA Nr.160 an. Es ergeben sich folgende Drücke in mm WS:

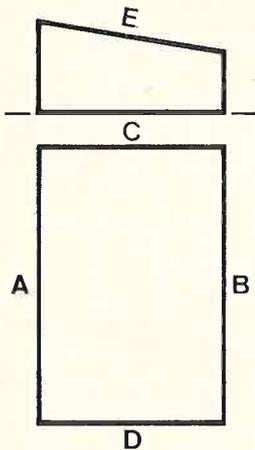
Abb.4 a



SATTELDACH

φ°	A	B	C	D	E	G
0	10	-6	-6	-6	2	-7
45	6	-6	5	-4		-10
90	-4	-4	11	-4	-6	-6

Abb.4 b



PULTDACH, III, 9

φ°	A	B	C	D	E
0	11	-6	-7	-7	-6
45	6	-7	5	-5	-14
90	-6	-4	11	-2	-4
180	-5	10	-8	-8	1

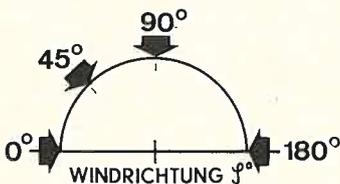


Abb. 5:

DRUCKVERTEILUNG VON SAUG- UND DRUCKSYSTEMEN

BEMERKUNGEN:

1. Wind wirkt auf Druckventilatoren günstig.
2. Dem Drucksystem steht bei Wind mehr Luft zur Verfügung.
3. Da die wasserdampfhaltige Luft sich oben sammelt, ist der Druckventilator in diesem System besser.
4. Beim Saugsystem wird die Strömungsrichtung auf der Windseite im Stall bei starkem Wind fast umgedreht.

DRUCKVENTILATOR

SAUGVENTILATOR

ANNAHME: konstanter Widerstand von 6mm WS im System

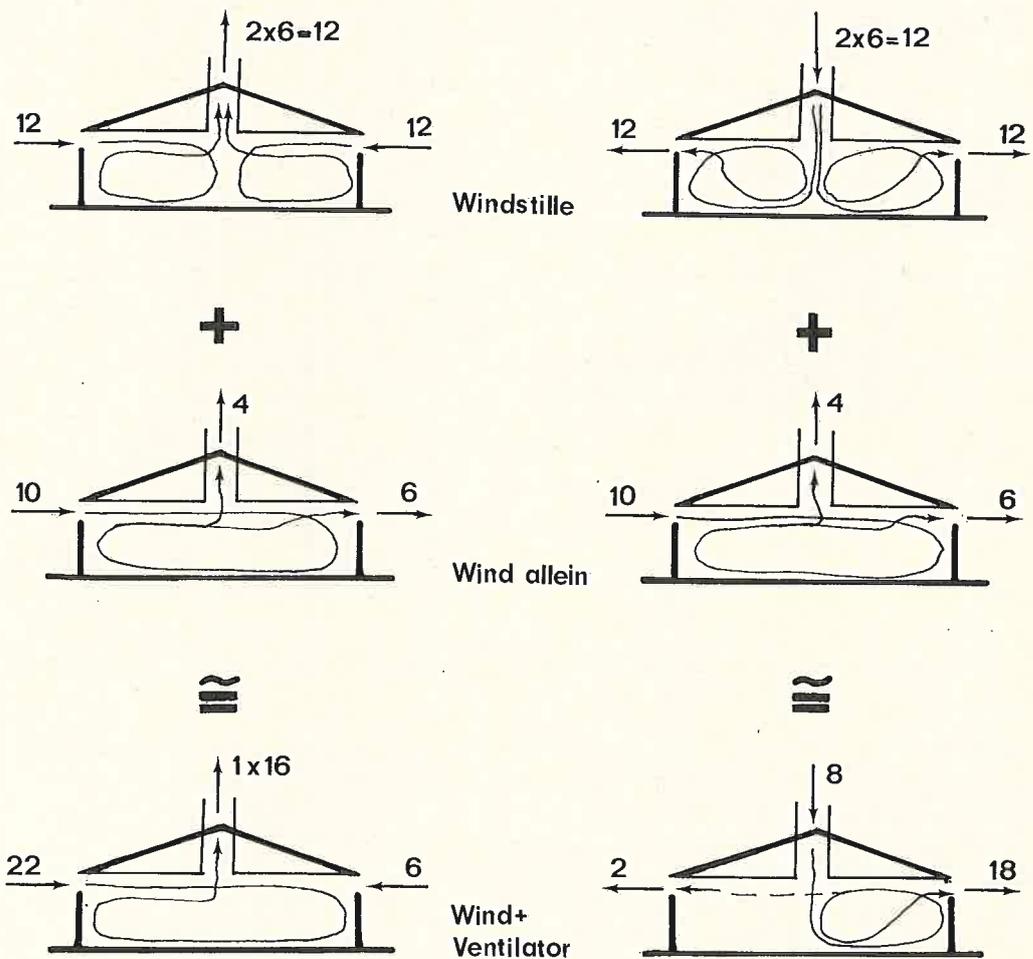
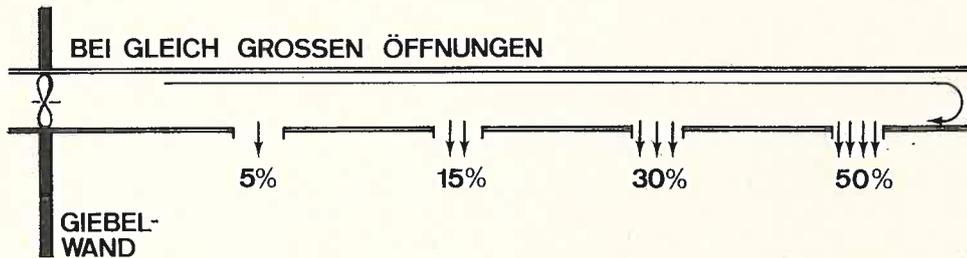


Abb.6:

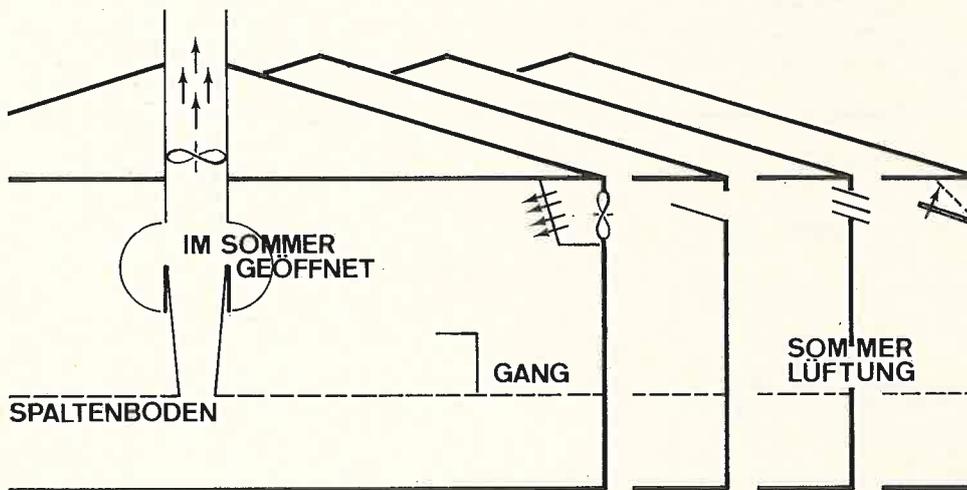
LÜFTUNGSKANAL IN STALLMITTE MIT VENTILATOR IM GIEBEL



1. SCHIEBER WEGEN STAUDRUCK UNTERSCHIEDLICH ÖFFNEN
2. NICHT ZU VIELE ÖFFNUNGEN ANORDNEN

Abb.7:

VERSCHIEDENE EINLASSÖFFNUNGEN



3.7 Zuluft

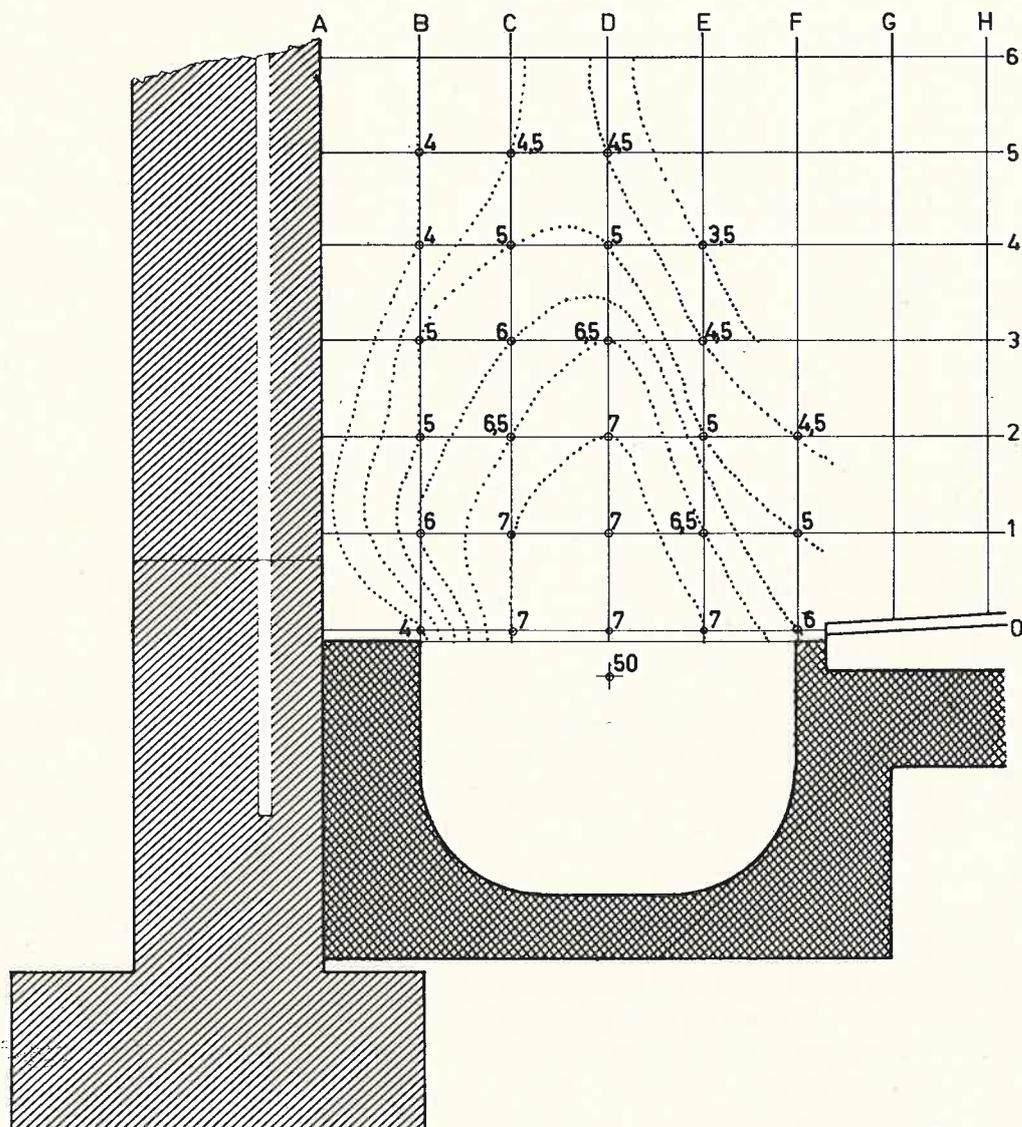
Die Zuluftöffnungen sind höchstens so gross wie die Abluftöffnungen auszubilden. Je langsamer kalte Zuluft in Deckenhöhe durch die Seitenwand einströmt, umso schneller fällt sie auf die Tiere und verursacht Zug. Es entsteht kein Zug, wenn die kalte Frischluft einen genügend langen Weg bis zum Aufenthaltsbereich der Tiere zurückzulegen hat und sich mit der Stallluft vermischt. Der Temperatenausgleich ist dann besser vollzogen. Durch Schiebervorstellung in der Zuluftöffnung werden die Zuluftgeschwindigkeiten und damit die Strömungsrichtung und der Strö-

mungsweg verändert. Als günstig haben sich verstellbare Leitplatten oder schräg liegende Platten längs der oberen längsseitigen Stallraumdecke erwiesen, die düsenförmige, 1 bis 2 cm grosse Löcher aufweisen, durch welche die Luft mit 2 bis 2,5 m/s ausströmen kann. Sommerluftklappen unten in der Stallseitenwand bieten einen weiteren Vorteil. Sie verursachen im Sommer wegen der ausgeglichenen Temperatur von Innen- und Aussenluft keinen Zug. Bekanntlich setzen wegen der Schwerkraft tiefer liegende Öffnungen höher liegende ausser Funktion (Abb. 7).

Abb. 8:

Ammoniak NH_3 Gasprofile in ppm

Jauchepumpe nicht im Betrieb



3.8 Kondenswasser

Kondenswasser bildet sich dort, wo warme wasserdampfhaltige Luft abgekühlt wird. Es tritt an Zu- und Abluftschächten auf, die nicht genügend wärmedämmend ausgebildet sind. Falls Kondenswasser schadlos abfließen kann, ist eine Wärmedämmung zur Verhinderung von Kondenswasser nicht nötig.

3.9 Güllegase

Ammoniak und Schwefelwasserstoff entstehen bei der Zersetzung von Gülle und Kot. Schwefelwasserstoff ist bereits in kleinsten Mengen sehr giftig. In

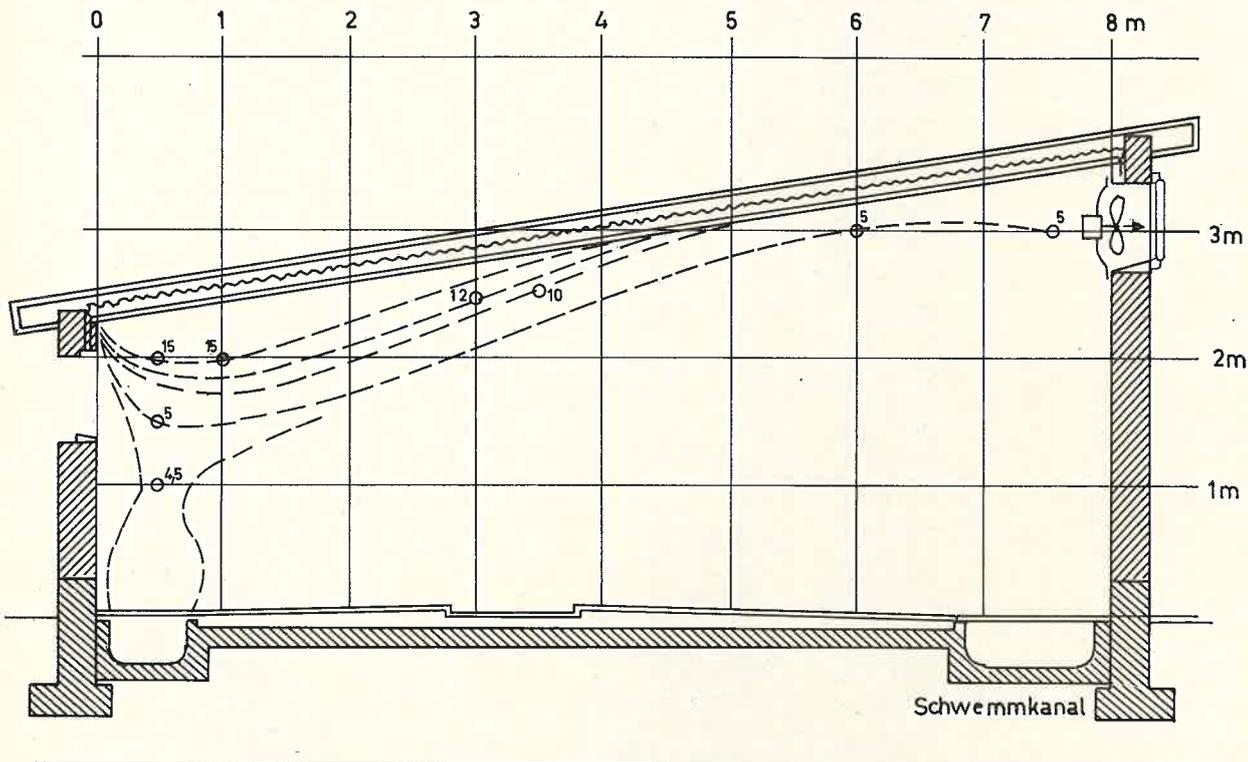
der Regel ist die Güllegrube siphonartig mit den Güllekanälen verbunden. Man sollte dafür sorgen, dass keine Luft aus dem Kanalbereich durch den Spaltenboden in den Stall strömt. Dies ist erreicht, wenn die Luft durch Öffnungen im Güllekanal aus dem Stallgebäude herausströmen kann. Eine solche Öffnung darf nicht windexponiert sein. Unterdrucklüftungen, die irgendwo über dem Rost die Stallluft ansaugen, können Vergiftungen verursachen. Abb. 8 weist deutlich die grösste Ammoniakkonzentration am Entstehungsort nach (50 ppm unter dem Spaltenboden). Es wäre von Vorteil, die Entstehung der

Abb. 9:

Schweinestall mit Gaskonzentrationsprofilen

— — — angenäherter Verlauf der Kurven gleicher NH_3 -Gaskonzentration

○ Messstellen für Ammoniak (NH_3) in ppm



Gülle-gase durch die Auswahl des Entmistungs-systems auf ein Minimum zu beschränken und die Entfernung dieser Gase nicht dem Lüftungssystem zu übertragen. Nach Abb. 9 setzt sich Ammoniak an der Decke ab; er ist spezifisch sehr leicht.

4. Schluss

Diese knappe Uebersicht über die Stalllüftungstechnik und gewisse Störfaktoren hilft uns, Schwerpunkte in unserem Forschungsprogramm zu setzen. Der FAT steht ab Sommer 1973 ein Klimaaggregat zur Verfügung, um in Räumen von 35 m³ bis 300 m³ in weiten Grenzen beliebige Temperaturen, Feuchtegehalte und Luftgeschwindigkeiten erzeugen zu können. Die Luftströmung soll sichtbar gemacht und fotografiert werden, um den Einfluss von Störquellen zu ermitteln und den Einsatz verschiedener Lüftungssysteme zu prüfen. In einer weiteren Versuchsphase werden das Verhalten und der Einfluss der Güllegase abgeklärt. Gaskonzentrationsprofile sollten die Strömungsbilder ergänzen. Gewiss werden weitere Kenntnisse über zweckmässige Stall-luftführung und Lüftungssysteme gewonnen werden.

Nachdruck der ungekürzten Beiträge unter Quellenangabe gestattet.

Allfällige Anfragen über das behandelte Thema sowie über andere landtechnische Probleme sind nicht an die FAT bzw. deren Mitarbeiter, sondern an die unten aufgeführten kantonalen Maschinenberater zu richten.

- | | |
|-------|--|
| ZH | Schwarzer Otto, 052 / 25 31 21, 8408 Wülflingen |
| ZH | Schmid Viktor, 01 / 77 02 48, 8620 Wetzikon |
| BE | Mumenthaler Rudolf, 033 / 57 11 16, 3752 Wimmis |
| BE | Schenker Walter, 031 / 57 31 41, 3052 Zollikofen |
| BE | Herrenschwand Willy, 032 / 83 12 35, 3232 Ins |
| LU | Rüttimann Xaver, 045 / 6 18 33, 6130 Willisau |
| LU | Widmer Norbert, 041 / 88 20 22, 6276 Hohenrain |
| UR | Zurfluh Hans, 044 / 2 15 36, 6468 Attinghausen |
| SZ | Fuchs Albin, 055 / 5 55 58, 8808 Pfäffikon |
| OW | Gander Gottlieb, 041 / 96 14 40, 6055 Alpnach |
| NW | Lussi Josef, 041 / 61 14 26, 6370 Oberdorf |
| GL | Jenny Jost, 058 / 61 13 59, 8750 Glarus |
| ZG | Müller Alfons, landw. Schule Schluechthof, 042 / 36 46 46, 6330 Cham |
| FR | Lippuner André, 037 / 9 14 68, 1725 Grangeneuve |
| SO | |
| BL | Wüthrich Samuel, 061 / 96 15 29, 4418 Reigoldswil |
| SH | Seiler Bernhard, 053 / 2 33 21, 8212 Neuhausen |
| AI/AR | Moesch Oskar, 071 / 33 25 85, 9053 Teufen |
| SG | Eggenberger Johannes, 071 / 44 29 38, 9425 Thal |
| SG | Haltiner Ulrich, 071 / 44 17 81, 9424 Rheineck |
| SG | Pfister Th., 071 / 83 16 70, 9230 Flawil |
| GR | Stoffel Werner, 081 / 81 17 39, 7430 Thusis |
| AG | Müri Paul, landw. Schule Liebegg, 064 / 45 15 53, 5722 Gränichen |
| TG | Monhart Viktor, 072 / 6 17 35, 8268 Arenenberg. |
- Schweiz. Zentralstelle SVBL Küssnacht, Maschinenberatung, Telefon 01 - 90 56 81, 8703 Erlenbach.