

# Luftführung in Ställen

Von **Hans-Dieter Zeisig**, Weihenstephan

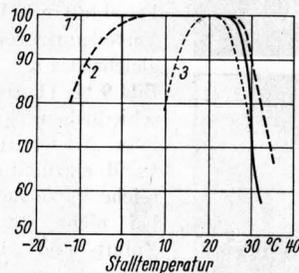
Aus den Arbeiten der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik Weihenstephan

Die intensiven Haltungsformen stellen wegen des dichten Tierbesatzes an die Stalllüftung erhöhte Anforderungen, die nur in Ausnahmefällen mit Hilfe der Freilüftung, z. B. über Dunstkamine, erfüllt werden können. Von den drei Lüftungssystemen mit Zwangslüftung — der Überdruck-, der Unterdruck- und der Gleichdrucklüftung — ist der Gleichdrucklüftung der Vorzug zu geben. Mit ihr erreicht man bei Verwendung von entsprechenden Luftverteilungsanlagen und geeigneter Anordnung der Ventilatoren auch unter ungünstigen Bedingungen immer eine verhältnismäßig gute Durchspülung des Stallraumes. Kostengünstigere Lösungen bieten die Überdruck- und Unterdrucklüftung, wobei besonders bei der Unterdrucklüftung mit einfachen Mitteln, richtige Anordnung der Luftverteilungsanlagen vorausgesetzt, gute Ergebnisse zu erzielen sind. Die durchgeführten Untersuchungen haben u. a. gezeigt, daß ein Erfassen des Strömungsprofils im Stall mit Hilfe von Meßinstrumenten wenig sinnvoll ist; dagegen kann die Luftströmung im Stall mittels Rauch sichtbar gemacht werden und Aufschluß über die zweckmäßige Ausbildung und Anordnung von Luftverteilungsanlagen geben. Aus der Vielzahl der Möglichkeiten zur Belüftung von Intensivstallungen werden einige Beispiele gezeigt und erläutert.

Lüftungseinrichtungen in Ställen sind nicht nur notwendig, um den Tieren ein in der Temperatur, dem Feuchtegehalt und Gasgehalt der Stallluft ausgeglichenes, leistungs- und gesundheitsförderndes Raumklima zu vermitteln, sondern auch, um dem Menschen, der die Tiere versorgt und pflegt, dort ein möglichst angenehmes Arbeiten zu ermöglichen.

Im Winter soll die Stalllüftung verhindern, daß die Luftfeuchte, der Kohlendioxydgehalt und auch z. B. der Ammoniakgehalt im Stall auf ein unerträgliches Maß steigt, während im Sommer ihre Hauptaufgabe darin besteht, neben der Abführung von Luftfeuchtigkeit, Kohlendioxyd und anderen schädlichen Gasen den Wärmestau im Bereich der Tiere zu verhindern, wobei die Luftgeschwindigkeit zur Vermeidung von Zuglufterscheinungen auf keinen Fall 0,3 m/s überschreiten darf. Über die zur Erfüllung der genannten Aufgaben erforderlichen Luftraten gibt das Normblatt DIN 18 910 [1] Aufschluß, wobei jedoch berücksichtigt werden muß, daß die dort angegebenen Luftraten nur dann ausreichend sind, wenn für eine möglichst optimale Frischluftverteilung und Abluftabführung im Stall gesorgt wird. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß im Winterbetrieb die Aufstellungs- und Entmistungsform die minimalen Luftraten wegen der unterschiedlichen Gasbildung mit beeinflussen kann.

In DIN 18 910 sind außerdem Angaben über den optimalen Temperaturbereich für verschiedene Nutztierarten enthalten.



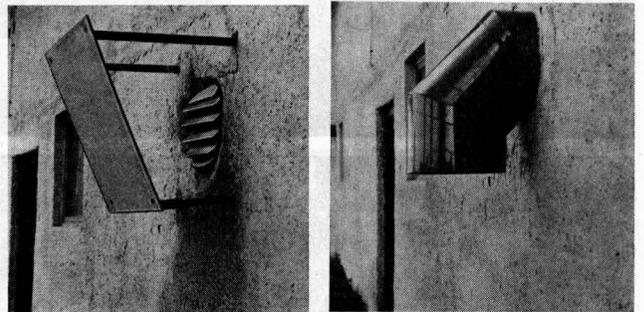
- 1 Milchleistung von Holstein/Frisians nach Comberg [2]
- 2 Milchleistung von Jersey nach Comberg [2]
- 3 tägl. Gewichtszunahme von Mastschweinen nach Heitman u. a. [5]

**Bild 1.** Leistung von Milchkühen und Mastschweinen in Abhängigkeit von der Stalltemperatur.

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Zeisig ist Mitarbeiter in der Abteilung I „Technische Entwicklung und Erprobung“ der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik in Weihenstephan.

Diese Angaben werden ergänzt bzw. erweitert durch eine Vielzahl von Untersuchungen verschiedener Autoren, aus denen hervorgeht, daß jede Tierart ihre maximale Leistung in einem bestimmten Temperaturbereich erzielt [2; 5], wobei das Leistungsoptimum z. B. bei Milchkühen in einem relativen Bereich zwischen + 4 und + 25° C liegt, während das Leistungsoptimum bei Mastschweinen zwischen etwa + 16 und + 21° C gegeben ist, **Bild 1**. Dies bedeutet, daß die Lüftungsanlagen mit entsprechenden Regeleinrichtungen versehen sein müssen, um die gegebenen Anforderungen erfüllen zu können, und daß sie in Gebieten mit rauhem Klima bei strohlosen Aufstallungsformen (z. B. Schweinemastställe, besonders in der Anfangsmaststufe) beheizt werden müssen.

Wegen der erforderlichen relativ hohen Luftraten im Sommerbetrieb scheidet bei den heutigen intensiv genutzten Stallungen die Freilüftung, z. B. über Dunstkamine, zumindest für Schweine- und Hühnerställe aus; dafür kommt nur die Zwangslüftung mit Hilfe von Ventilatoren in Frage. Die bei den heutigen Stalllüftungen verwendeten Ventilatorbauarten sind fast ausnahmslos Axialventilatoren mit einem relativ geringen statischen Druck von etwa 5 bis 10 mm Wassersäule (Arbeitsbereich normalerweise bis etwa 3 bis 5 mm Wassersäule). Dieser geringe statische Druck bedeutet gleichzeitig eine starke Abhängigkeit der Fördermenge vom äußeren Winddruck. Es ist daher durch geeignete Vorrichtungen dafür zu sorgen, daß der Winddruck nicht zur Wirkung kommt [3]. Eine Windabweisplatte etwa in der Art, wie sie in **Bild 2** zu sehen ist, wirkt nur bedingt bis zu Windgeschwindigkeiten von etwa 6 m/s und auch nur dann, wenn der Ventilator auf voller Drehzahl läuft. Als wesentlich günstiger erwies sich z. B. ein einfaches Rohrknie, **Bild 3**, das selbst bei gedrosselter Ventilatorleistung und höheren Windgeschwindigkeiten noch eine ausreichende Fördermenge gewährleistet.



**Bild 2** (links). Wenig wirksame Windabweisplatte an der Ausblasseite eines Absaugventilators.

**Bild 3** (rechts). Aus PVC-Fertigteilen hergestelltes Rohrknie zur Verhinderung des Windeinflusses bei Absaugventilatoren.

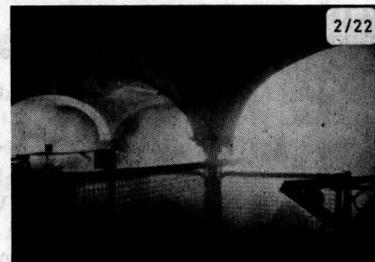
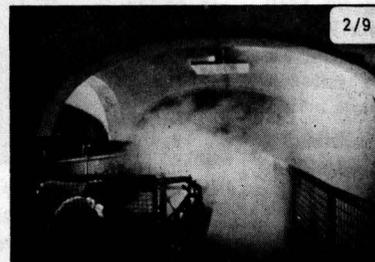
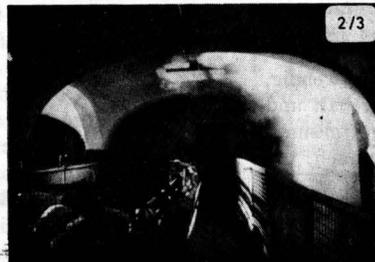
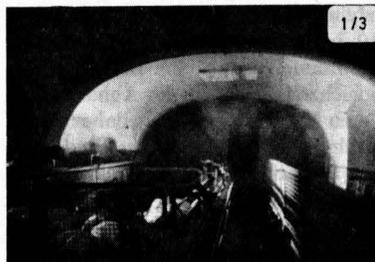
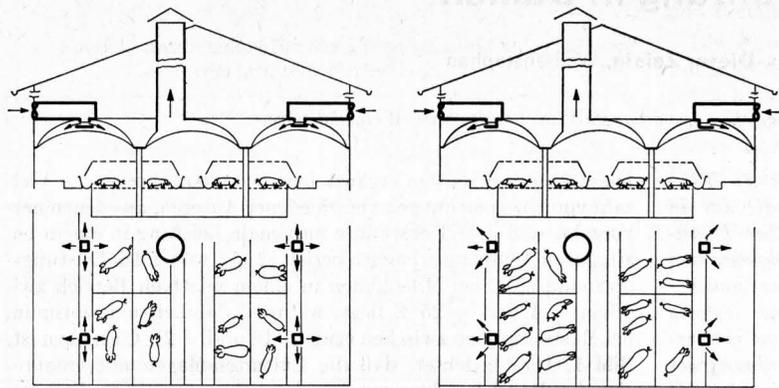
## Stalllüftungssysteme

Die Vielzahl der auf dem Markt befindlichen Lüftungssysteme mit Zwangslüftung läßt sich in drei Hauptgruppen unterteilen: Überdrucklüftung, Unterdrucklüftung und Gleichdrucklüftung.

Bei der Überdrucklüftung wird die Frischluft mittels eines oder mehrerer Ventilatoren über entsprechende Luftverteilungsanlagen in den Stall gedrückt, **Bild 4 und 5**. Die Abluft gelangt dann durch seitliche Maueröffnungen wieder ins Freie oder wird, wie bei dem Beispiel in **Bild 4 und 5** durch Abluftkamine abgeführt. Bei seitlichen Maueröffnungen wird die Luftführung im Stall durch äußere Windkräfte stark beeinflusst, was sogar so weit gehen kann, daß z. B. eine Stall-

hälfte bei entsprechendem Winddruck überhaupt nicht belüftet wird. Bei Verwendung von Abluftkaminen ist dieses Problem nicht vorhanden, jedoch tritt auch hierbei wegen der

grundsätzlich immer vorhandenen Undichtigkeiten im Gebäude (Fenster, Türen usw.) nur ein Teil der zugeführten Frischluft durch die vorgesehenen Abluftöffnungen wieder ins



**Bild 4.** Überdrucklüftung (Versuch 1).  
 $Q = 460 \text{ m}^3/\text{GV h}$   $t_i = 22^\circ\text{C}$   
 $F = 9,4 \text{ m}^2/\text{GV}$   $t_a = 18^\circ\text{C}$   
 Lufteinlaß über Prallkästen;  
 Trennwände offen

**Bild 5.** Überdrucklüftung (Versuch 2).  
 $Q = 460 \text{ m}^3/\text{GV h}$   $t_i = 18^\circ\text{C}$   
 $F = 9,4 \text{ m}^2/\text{GV}$   $t_a = 18^\circ\text{C}$   
 Lufteinlaß über Prallkästen;  
 Trennwände offen

Freie. So konnte bei der Anordnung nach Bild 4 und 5 z. B. festgestellt werden, daß bei einer mittleren Luftgeschwindigkeit von 3 m/s im Abluftkamin nur 75% der zugeführten Frischluft durch den Kamin entweichen. Wird die mittlere Luftgeschwindigkeit im Kamin auf ungefähr 2 m/s abgesenkt, so beträgt der Durchsatz für den gleichen Stall max. 80% der zugeführten Frischluft; mit einer Absenkung unter 2 m/s läßt sich der angegebene Prozentsatz nicht mehr weiter erhöhen. Daraus folgt, daß bei der Überdrucklüftung mindestens 20% der zugeführten Frischluft (bei undichten Ställen wie z. B. Rinderställen mit großen Durchfahrten bis zu 50%) unkontrolliert entweichen, was abgesehen von möglichen Schädigungen der Bausubstanz zu beträchtlichen Geruchsbelästigungen außerhalb der Stallgebäude führen kann.

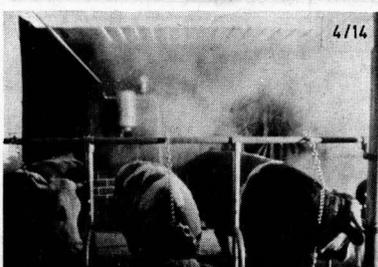
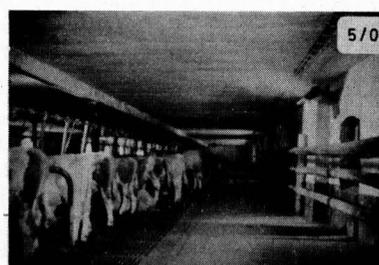
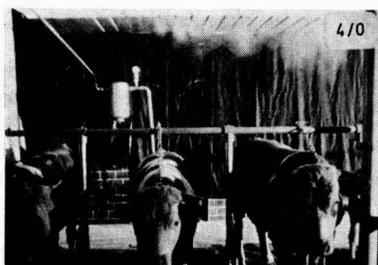
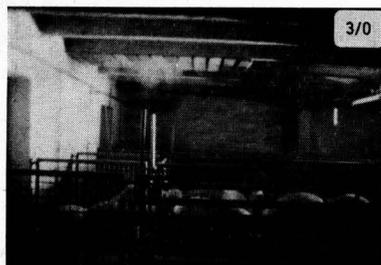
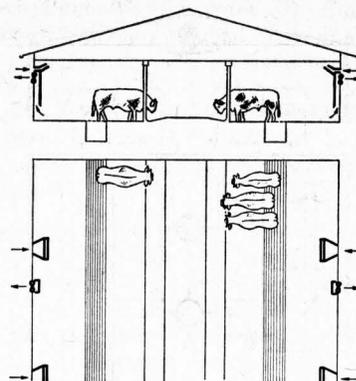
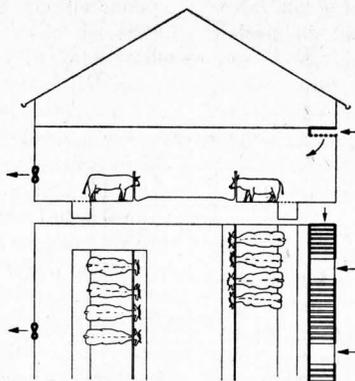
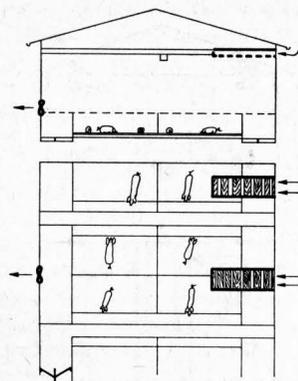
Bei der Unterdrucklüftung wird die verbrauchte Stallluft mittels Ventilatoren aus dem Stall abgesaugt, während die Frischluft gleichzeitig über entsprechende Verteileinrichtungen in den Stallraum einströmt, **Bild 6 bis 8**. Ebenso wie bei der Überdrucklüftung saugen hierbei die Ventilatoren wegen der immer vorhandenen Undichtigkeiten im Gebäude etwa 20 bis 40% der Frischluft (unterer Wert normalerweise für Schweineställe, oberer Wert für Rindviehställe) „unkontrolliert“ an, wenn die Einströmquerschnitte für die Frischluft so ausgelegt werden, daß darin eine mittlere Luftgeschwindigkeit von ungefähr 2 m/s herrscht. Eine niedrigere Einströmgeschwindigkeit ergibt praktisch keine meßbare Verringerung des Falschluffanteiles, während höhere mittlere Einströmgeschwindigkeiten den Falschluffanteil wesentlich erhöhen. Zwar läßt sich der Falschluffanteil durch entsprechende Abdichtungsmaßnahmen an Türen, Fenstern usw. erheblich senken, jedoch wurden dafür bislang noch keine einfachen und dauerhaften Lösungen gefunden. Bei der Unterdrucklüftung führt der Falschluffanteil im Winterbetrieb zu kühleren Zonen in der Nähe der Undichtigkeiten und kann sogar Zugerscheinungen, besonders bei Jungtieren (Ferkel oder Kälber), hervorrufen.

Die Beseitigung der Geruchsbelästigung außerhalb des Stallgebäudes ist bei der Unterdrucklüftung wesentlich einfacher möglich als bei der Überdrucklüftung; hierfür sind besondere Bauarten von Geruchsschleusen denkbar, bzw. die Luft kann durch einfache Kamine, die mit Abdeckhauben in der Art einer Meidner-Scheibe versehen sind, nach oben geblasen werden.

Bei der Gleichdrucklüftung wird die Frischluft mit Ventilatoren über entsprechende Verteileinrichtungen in den Stall geblasen und gleichzeitig mit anderen Ventilatoren abgesaugt, **Bild 9 bis 11**. In der Praxis ist wegen der unterschiedlichen Strömungswiderstände ein absoluter „Gleichdruck“ nur mit sehr großem Aufwand einzuhalten, jedoch konnte durch zahlreiche Versuche nachgewiesen werden, daß sich bei nicht stark voneinander abweichenden Zuluft- und Abluftmengen (etwa  $\pm 20\%$ ) die Durchspülung des Stallraumes und damit die Frischluftversorgung der Tiere selbst bei geöffneten Türen oder Fenstern nur unwesentlich ändert. Die Beseitigung der Geruchsbelästigung außerhalb des Stallgebäudes kann mit den gleichen Einrichtungen wie bei der Unterdrucklüftung erfolgen.

Die gleichmäßige Durchspülung des gesamten Stallraumes ist primär von der Art und Lage der Zuluft-Verteileinrichtungen abhängig, jedoch kann sie durch unzuweckmäßige Anbringung

und Ausbildung der Ablufteinrichtungen ungünstig beeinflusst werden. In diesem Zusammenhang kann die Ansicht von Katz [6] und anderen Autoren aufgrund der durchgeführten



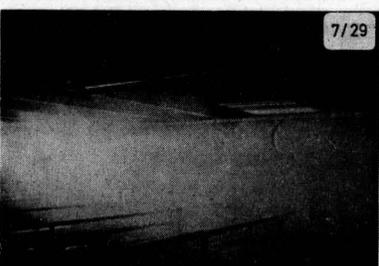
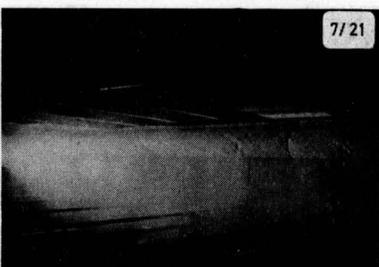
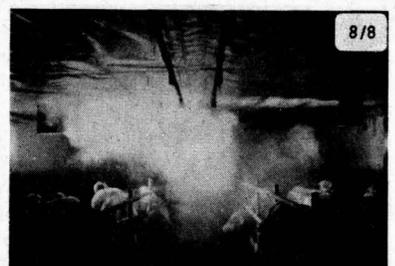
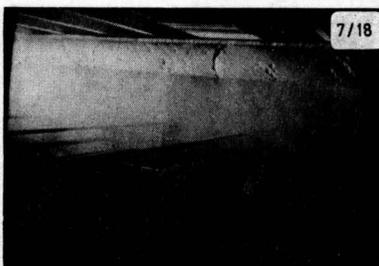
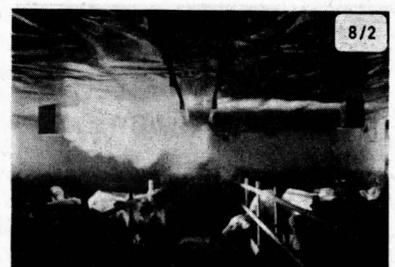
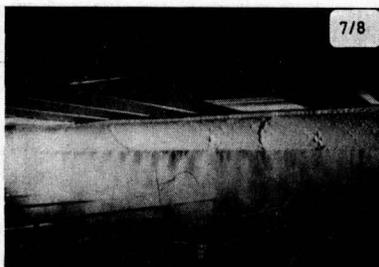
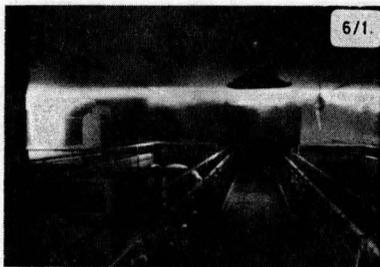
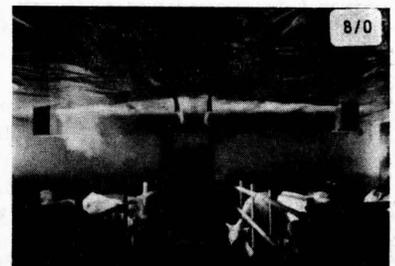
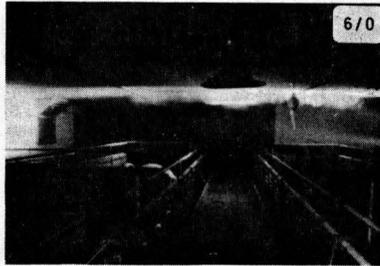
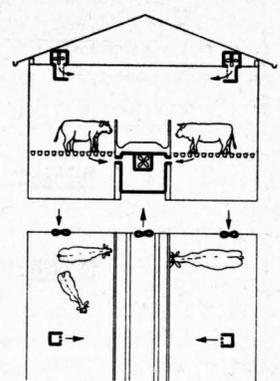
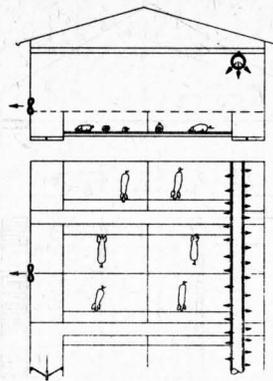
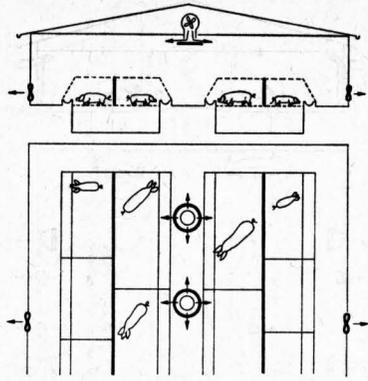
**Bild 6.** Unterdrucklüftung (Versuch 3).  
 $Q = 246 \text{ m}^3/\text{GV h}$      $t_i = 20^\circ\text{C}$   
 $F = 7,8 \text{ m}^2/\text{GV}$      $t_a = 15,5^\circ\text{C}$   
 Lufterinlaß über Rieselschächte;  
 Trennwände offen

**Bild 7.** Unterdrucklüftung (Versuch 4).  
 $Q = 230 \text{ m}^3/\text{GV h}$      $t_i = 25^\circ\text{C}$   
 $F = 6,1 \text{ m}^2/\text{GV}$      $t_a = 24,5^\circ\text{C}$   
 Lufterinlaß über seitlichen Rieselschacht

**Bild 8.** Unterdrucklüftung (Versuch 5).  
 $Q = 280 \text{ m}^3/\text{GV h}$      $t_i = 26^\circ\text{C}$   
 $F = 7,6 \text{ m}^2/\text{GV}$      $t_a = 22,5^\circ\text{C}$   
 Lufterinlaß über Leitdüsen

Versuche nicht geteilt werden. So können u. a. Kondensationserscheinungen, die durch einen Luftstau bzw. ruhende Luft in bestimmten Stallbereichen auftreten, durch die Verlegung

von Abluftöffnungen bzw. Abluftventilatoren beseitigt werden. Die Probleme bei der Überdrucklüftung wurden bereits erwähnt, ebenso wie bei der Abluftförderung durch Ventilatoren



**Bild 9.** Gleichdrucklüftung (Versuch 6).  
 $Q = 115 \text{ m}^3/\text{GV h}$      $t_i = 18^\circ\text{C}$   
 $F = 7,4 \text{ m}^2/\text{GV}$      $t_a = 2^\circ\text{C}$   
 Lufteinlaß in Stallmitte über Prallteller  
 Längstrennwände geschlossen

**Bild 10.** Gleichdrucklüftung (Versuch 7).  
 $Q = 60 \text{ m}^3/\text{GV h}$      $t_i = 20^\circ\text{C}$   
 $F = 7,80 \text{ m}^2/\text{GV}$      $t_a = 4^\circ\text{C}$   
 Lufteinlaß über Kunststoffschlauch  
 Trennwände offen

**Bild 11.** Gleichdrucklüftung (Versuch 8).  
 $Q = 200 \text{ m}^3/\text{GV h}$      $t_i = 18^\circ\text{C}$   
 $F = 5,10 \text{ m}^2/\text{GV}$      $t_a = 14^\circ\text{C}$   
 Lufteinlaß über Leitkästen

die Verwendung geeigneter Einrichtungen zur Verhinderung des Windeinflusses. Ein weiterer Punkt ist die Anbringung dieser Ventilatoren im Stall und ihr Ansaugbereich. Es konnte durch Rauchversuche nachgewiesen werden, daß ein Ventilator dann seinen größten Einzugsbereich hat, wenn er so in der Wand befestigt wird, daß sein Laufrad etwa mit der Innenkante der Wand abschließt. Das Strömungsprofil bei Axialventilatoren ist dann dem einer räumlichen Senkenströmung (Halbkugel) ähnlich, wobei die Potentiallinien im mittleren Teil sogar etwas abgeflacht erscheinen. Dies bedeutet, daß bei einer mittleren Luftgeschwindigkeit im Ausblasstutzen (320 Ø) von z. B. 7 m/s bereits 40 cm vor dem Ventilator nur noch eine Luftgeschwindigkeit von unter 0,5 m/s herrscht. Bei Vergrößerung des Abstandes zwischen Laufrad und Innenkante Wand wurde eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit im mittleren Bereich vor dem Ventilator beobachtet, die über den rechnerischen Wert einer Senkenströmung hinausging.

Beim Einsatz von Luftsaugkästen, wie sie heute noch häufig in der Praxis anzutreffen sind, wird die Fördermenge des Ventilators gedrosselt, zudem können Zugscheinungen bei den Tieren in der Nähe dieser Absaugkästen auftreten. Bei Querbelüftung, Bild 6 bis 8, 9 und 10, empfiehlt es sich daher, die Absaugventilatoren in mittlerer Höhe der Wand ohne Absaugkästen anzubringen. Der horizontale Abstand zwischen den Ventilatoren kann dann nach den bisherigen Erfahrungen bis zu 10 bis 12 m betragen.

### Sichtbarmachen der Luftströmung im Stall

Die durchgeführten Messungen zur Stallentlüftung haben gezeigt, daß eine Erfassung der Luftgeschwindigkeiten in Ställen nach Größe und Richtung wenig sinnvoll ist, da sich im Stall nicht-stationäre Wirbel unterschiedlicher Intensitäten ausbilden, die ein genaues Erfassen des Strömungsprofils unmöglich machen. Außerdem verlieren wegen der besonders in Schweineställen stark staubhaltigen Atmosphäre normale Hitzdrahtanemometer sehr schnell ihre Anzeigegenauigkeit und werden unbrauchbar. Der Versuch, Kaltleiterelemente dafür einzusetzen, hat bislang kein befriedigendes Ergebnis gezeigt, da offensichtlich die verwendeten Kaltleiter durch Alterung ihre Kennlinie verändern.

Um überhaupt über die Wirkung der Luftverteileinrichtungen eine Aussage machen zu können, wurde die Luftströmung im Stall mittels Rauch sichtbar gemacht und gefilmt. Hierzu wurden die untersuchten Ställe verdunkelt und durch starke Scheinwerfer beleuchtet, wobei der Lichtstrahl der Scheinwerfer vorwiegend in die Hauptströmungsrichtung gerichtet wurde. Naturgemäß nimmt die Lichtstärke mit wachsender Entfernung von der Lichtquelle ab, daher erscheint der Rauch in der Nähe der Scheinwerfer immer heller und läßt so den Eindruck entstehen, daß dort die Rauchkonzentration und damit auch die Belüftungsintensität höher sei. Diese Erscheinung wird noch dadurch verstärkt, daß der in der Nähe der Scheinwerfer befindliche Rauch das Licht reflektiert und teilweise absorbiert. Der Rauch wurde bei laufenden Ventilatoren jeweils nur in eine Lufteinlaßöffnung hereingelassen. Bei symmetrisch angeordneten Einlaßöffnungen wird also nur von einer Seite je nach Lüftungssystem Rauch in den Stall gedrückt oder gesaugt, während von der anderen Seite die normale, nicht sichtbar gemachte Luft einströmt. Die angeführten Bildfolgen sind Ausschnitte aus derartig aufgenommenen Filmszenen und sollen Beispiele von verschiedenen Lüftungssystemen und Luftverteileinrichtungen zeigen.

Den Bildfolgen ist jeweils ein schematischer Querschnitt der Stallung mit der Lage und Anordnung der Lüftungseinrichtungen beigegeben. Außerdem sind die spezifische Luftmenge  $Q$ , die spezifische Stallfläche  $F$ , die Stallinnentemperatur  $t_i$  und die Außentemperatur  $t_a$  angegeben, die den jeweiligen Zustand bei den Filmaufnahmen beschreiben. Da die Wiedergabe des gesamten Filmstreifens einer Szene an dieser Stelle zu weit führen würde, wurden einige Bilder aus dem Filmstreifen herausgegriffen.

Die Kennzeichnung der Bilder, z. B. 1/9, bedeutet: Versuch 1 aufgenommen 9 s nach Beginn des Raucheintritts in den Stall.

Bild 4 ist ein Beispiel für eine Überdrucklüftung in einem Schweinestall. Hierzu wird die Frischluft durch über der Stalldecke angeordnete Kanäle in den Stall gedrückt; die Luftverteilung erfolgt durch Prallteller, die unter den einzelnen Lufteinlaßschächten angeordnet sind, während die verbrauchte Stallluft durch einen großdimensionierten Abluftschacht abgeleitet werden soll. Trotz der mit 460 m<sup>3</sup>/GV h relativ hohen spezifischen Luftmenge liegt die Stalltemperatur über der Außenlufttemperatur; dies ist dadurch zu erklären, daß ein Teil der Frischluft ungenutzt unter den Gewölbbögen direkt zum Abluftschacht strömt.

Bild 5 zeigt eine verbesserte Frischluftführung im gleichen Stall wie nach Bild 4, bei der die Frischluft gezwungen wird, außerhalb des Aufenthaltsbereiches der Tiere an der Außenwand nach unten zu strömen. Der Erfolg dieser Maßnahme ist nicht nur an der Stalltemperatur, die keinen Unterschied zur Außenlufttemperatur aufweist, zu erkennen, sondern auch daran, daß der mittlere Ammoniakgehalt der Stallluft im Aufenthaltsbereich der Tiere um rund 15 ppm niedriger lag als bei dem Zustand nach Bild 4, wo ein mittlerer Ammoniakgehalt von etwa 25 ppm gemessen wurde.

Bild 6 ist ein Beispiel für eine Unterdrucklüftung, bei der die Frischluft über Rieselschächte, die in der Form eines Stichkanals ausgebildet sind, in den Stallraum gesaugt wird. Mit dieser einfachen Anordnung ist eine relativ günstige und gleichmäßige Durchspülung des gesamten Stallraumes zu erreichen, wenn die Rieselschächte stirnseitig geschlossen sind.

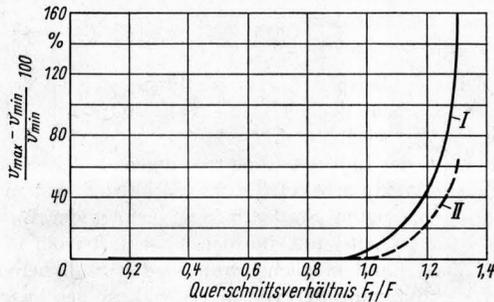
Bild 7 zeigt eine weitere Variante eines Rieselschachtes in einem Milchviehstall. Dieser Schacht ist an einer Längsseite des Stalles angebracht und zusätzlich zu den Lufteinlaßöffnungen an beiden Enden auch noch mit seitlichen Luftzuführungen versehen, um so bei relativ kleinem Schachtquerschnitt die Luftgeschwindigkeit und damit auch die Strömungswiderstände im Schacht möglichst niedrig zu halten. Gleichzeitig wird durch die niedrige Geschwindigkeit der durch die einzelnen Schlitze in den Stall eintretenden Luftstrahlen die Gefahr des Auftretens von Zugscheinungen bei den Tieren ausgeschlossen. Die von Katz [6] angegebenen Strömungsbilder für ähnliche Anordnungen der Frischluftzuführung konnten annähernd erst dann im Stall erzeugt werden, wenn mit Luftaustrittsgeschwindigkeiten von etwa 5 m/s in den Schlitzen gearbeitet wurde. Die Gründe, die gegen die Verwendung derartig hoher Luftgeschwindigkeiten bei der Unterdrucklüftung sprechen, sind bereits erwähnt worden.

Bild 8 ist ein Beispiel für Stallentlüftungen, bei denen die Frischluft in einem flachen Band dicht unterhalb der Stalldecke eingesaugt wird. Die anhand dieses Beispiels erläuterten Erscheinungen der Luftverteilung treten grundsätzlich bei allen nach diesem Prinzip arbeitenden Stallentlüftungssystemen auf. Bei der hier gezeigten Stallentlüftung erfolgt der Lufteinlaß über sogenannte Leitdüsen, die den Frischluftstrom in einem relativ flachen Band möglichst weit in den Stall hereinleiten sollen. Die Absaugung der verbrauchten Luft geschieht dann durch mit Ventilatoren versehene Abluftkästen, die zu den Lufteinlaßöffnungen versetzt angeordnet sind und außerdem eine Umschaltmöglichkeit haben, die es erlaubt, die Luft wahlweise aus dem unteren oder oberen Stallbereich abzusaugen; bei der gezeigten Einstellung wird die Luft aus dem unteren Stallbereich abgesaugt. Trotz der für einen Rinderstall relativ hohen spezifischen Luftmenge läßt die erhöhte Stalltemperatur auf eine ungenügende Luftverteilung schließen, die nicht alleine auf den quer zur Strömungsrichtung liegenden Unterzug zurückzuführen ist. Es hat sich gezeigt, daß die mit max. etwa 2,4 m/s für eine Unterdrucklüftung relativ hohe Lufteintrittsgeschwindigkeit nicht ausreicht, bei dieser Anordnung (Stallbreite 12 m) die Frischluft bis in den Atmungsbereich der Tiere zu transportieren. Außerdem ändert ein beachtlicher Anteil des Luftstromes schon nach kurzer Entfernung hinter der Düse seine Richtung und strömt zu den Absaugventilatoren, wobei die Luft dazu neigt, vorwiegend unter der Stalldecke „entlangzukriechen“ (am oberen Bildrand zu erkennen) und erst kurz vor dem Ventilator wegen der Einstellung des Abluftkastens nach unten zu strömen.

Bei dem Beispiel einer Gleichdrucklüftung nach Bild 9 erfolgt der Luftenlaß in Stallmitte, während die Verteilung durch sogenannte Prallteller vorgenommen werden soll. Aus den Bildern dieses Beispiels ist deutlich zu sehen, daß, bedingt durch die hohe Austrittsgeschwindigkeit, ein Großteil der Frischluft direkt zu den Außenwänden und damit zu den Absaugventilatoren strömt. Der Mittelteil des Stalles wird hierbei vollkommen unzureichend mit Frischluft versorgt, was auch teilweise noch durch die geschlossenen Längstrennwände (Bretterverkleidung) verstärkt wird; jedoch ändert sich diese Erscheinung auch dann nicht wesentlich, wenn die geschlossenen Längstrennwände durch unterbrochene ersetzt werden. In beiden Fällen konnte im Aufenthaltsbereich der Tiere ein Ammoniakgehalt der Stallluft gemessen werden, der häufig bis über 50 ppm anstieg, wobei gleichzeitig ein starkes Schwanzbeißfen beobachtet wurde.

Grundsätzlich konnte auch bei anderen, strohlosen Aufstallungsformen bei einem Ansteigen des Ammoniakgehaltes der Stallluft oberhalb etwa 45 bis 50 ppm ein starkes Ansteigen des Schwanzbeißfen bei den Schweinen beobachtet werden. Der Ammoniakgehalt der Stallluft scheint hier, wahrscheinlich in Verbindung mit anderen Gasen [7], die in eingestreuten Ställen nicht in dem Maße vorhanden sind, eine auslösende Wirkung auf den Kannibalismus der Schweine zu haben, der sogar zu Totalausfällen führen kann.

Bild 10 zeigt eine Gleichdrucklüftung, bei der die Frischluft über einen Kunststoffschlauch in den Stall geblasen wird. Damit ist eine sehr gleichmäßige Durchlüftung des gesamten Stallraumes möglich, wenn einmal die Luftaustrittsöffnungen im unteren Bereich des Lüftungsschlauches (unterhalb der Mittellinie) angeordnet werden und zum anderen bei gleichmäßiger Verteilung der Luftaustrittsöffnungen über der gesamten Schlauchlänge die Summe der Querschnitte der einzelnen Luftaustrittsöffnungen nicht größer ist als der Gesamtquerschnitt des Lüftungsschlauches. In Bild 12 ist die Abweichung der Ausblasmenge in Abhängigkeit vom Querschnittsverhältnis  $F_1/F$  für zwei verschiedene Ventilatoren aufgetragen. Bei Anbringung der Luftaustrittsöffnungen im oberen Bereich des Lüftungsschlauches neigt die zugeführte Frischluft, gleichgültig ob sie nun vorgewärmt oder kalt ist, dazu, mehr oder weniger stark unter der Stalldecke entlangzukriechen, ohne den Aufenthaltsbereich der Tiere ausreichend zu durchspülen.



**Bild 12.** Abweichung der Ausblasmenge in Abhängigkeit vom Querschnittsverhältnis  $F_1/F$  eines Kunststoffschlauches für den Luftenlaß (siehe Bild 10).

Ventilator I:  $v_{max} = 6450 \text{ m}^3/\text{h}$   
 Ventilator II:  $v_{max} = 3150 \text{ m}^3/\text{h}$   
 $F_1$  Summe der Lochquerschnitte  
 $F$  Schlauchquerschnitt  
 Schlauchlänge 14,5 m  
 Schlauchdurchmesser 420 mm

Zur Vermeidung von Zugserscheinungen bei den Tieren hat sich ein Durchmesser der Luftaustrittsöffnungen von nicht größer als 12 mm als günstig erwiesen, da dabei selbst bei maximalen Austrittsgeschwindigkeiten von etwa 10 m/s nach spätestens 80 cm die Luftgeschwindigkeit des einzelnen Luftstrahles so weit abgebaut ist, daß sie unterhalb der Gefahrenzone liegt. Besonders in den Momentaufnahmen 7/0 und 7/8 in Bild 10 ist deutlich zu erkennen, daß der aus den einzelnen Luftaustrittsöffnungen austretende Strahl nach einer relativ kurzen Entfernung zerplatzt und dadurch seine Geschwindigkeit sehr schnell abbaut. Werden hierbei größere Öffnungen als 12 mm verwendet, so vergrößert sich auch die Ein-

dringtiefe des Strahles und die hohe Luftgeschwindigkeit baut sich erst wesentlich später ab.

Bild 11 zeigt ein weiteres Beispiel für eine Gleichdrucklüftung in einem Bullenmaststall. Hierbei wird die Frischluft durch zwei über der Decke in Stallängsrichtung liegende Kanäle gedrückt und tritt dann durch sich gegenüberliegende, mit schmalen, senkrechten Leitschlitzen versehene Kästen in den Stallraum [4]. Über dem Futtergang prallt die von beiden Seiten kommende Frischluft zusammen, verwirbelt und verteilt sich, um dann unterhalb des Spaltenbodens durch einen unter dem Futtergang liegenden Kanal abgesaugt zu werden. Bei niedrigen Außentemperaturen hat es sich in diesem Stall herausgestellt, daß wegen der geringeren Luftstraten die Durchspülung des äußeren Stallraumes (an den Längswänden) nicht ganz ausreichend ist. Dieser Mangel kann jedoch durch die Anbringung von Absaugventilatoren in den Längswänden (Seitenabsaugung) behoben werden.

Zur Erzielung einer ausreichend gleichmäßigen Luftverteilung im Stall kann bei einem Abstand der gegeneinanderblasenden Luftzuführungskästen von 3 bis 6 m der Längsabstand zum nächstliegenden Kastenpaar 10 bis 12 m betragen. Besonders bei niedrigen Außentemperaturen (Winterbetrieb) bilden sich dann jedoch im Bereich der Zuführungskästen kühlere Zonen, die von den Tieren gemieden werden. Um diese Erscheinung auszuschließen, ist es notwendig, den Längsabstand der Luftzuführungskästen auf höchstens etwa 6 m zu verringern. Besonders in Ställen mit empfindlichen Tieren, wie z. B. in Schweinemastställen, muß dieser Abstand noch weiter verringert werden (höchstens 4 m).

### Zusammenfassung

Die intensiven Haltungsformen stellen wegen des dichten Tierbestandes an die Stalllüftung erhöhte Anforderungen, die nur in Ausnahmefällen mit Hilfe der Freilüftung z. B. über Dunstkamme erfüllt werden können. Von den drei auf dem Markt befindlichen Lüftungssystemen mit Zwangslüftung, der Überdruck-, der Unterdruck- und der Gleichdrucklüftung, ist nach den bisherigen Erfahrungen der Gleichdrucklüftung der Vorzug zu geben, da mit ihr auch unter ungünstigen baulichen Voraussetzungen und unter ungünstigen äußeren Bedingungen immer eine relativ gute Durchspülung des Stallraumes zu erreichen ist. Kostenmäßig günstigere Lösungen bieten die Überdruck- und die Unterdrucklüftung. Mittels Rauch konnte die Luftströmung im Stall sichtbar gemacht werden und auf diese Weise Aufschluß über die zweckmäßige Ausbildung und Anordnung von Luftverteilungsrichtungen geben. Aus der Vielzahl der Möglichkeiten zur Belüftung von Intensivstallungen wurden einige Beispiele gezeigt und ihre Vor- und Nachteile erläutert.

### Schrifttum

- [1] DIN 18 910, Blatt 1, 2 und 3. Klima im geschlossenen Stall. (1963/65/66)
- [2] Comberg, G.: Anforderungen der Haustiere an das Stallklima. In: Ber. üb. Stallklimafaktoren. ALB-Ber.-heft 24. Frankfurt: Arb. gem. Landw. Bauwes. 1965. S. 11/24.
- [3] Dittert, P.: Vergleichende Untersuchungen von Windabweisern für Stalllüfter. Grndl. Landtechn. 19 (1969) Nr. 1, S. 21/24.
- [4] Hannusch, D.: Der Umbau von Milchviehställen als Ergebnis funktioneller, bautechnischer und investitionsabhängiger Überlegungen. Diss. TH München-Weihenstephan 1969.
- [5] Heitman, H., C. Kelly and T. E. Bond: Ambient air temperature and weight gain in swine. J. Anim. Sci. 17 (1958) Nr. 1, S. 62/67. Zitiert von P. G. Finn-Kelcey. In: Ber. üb. Stallklimafaktoren. ALB-Ber.heft 26. Frankfurt: Arb.gem. Landw. Bauwes. 1966. S. 59/66.
- [6] Katz, Ph.: Beitrag zur experimentellen Untersuchung der Luftströmung in Ställen. Diss. Univ. Gießen 1965.
- [7] Noren, O., S. U. Skarp and G. Aniansson: Neuere Erfahrungen nach ITIs Untersuchungen über das Mistgasproblem. Zirkular Nr. 20. Schwedisches Institut für Landtechnik, Uppsala 1967.